Lane Medical Library

Die Mikrometrie und ihre Anwendung auf die Bestimmung der Grössenveränderungen der roten Blutkörperchen einiger Vertebraten durch verschiedene Zusatzflüssigkeiten.

INAUGURAL-DISSERTATION

WELCHE

ZUR ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

IN DER

MEDICIN UND CHIRURGIE

MIT ZUSTIMMUNG

DER MEDICINISCHEN FACULTÄT

DER

FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

AM 21. MÄRZ 1893

NEBST DEN ANGEFÜGTEN THESEN

ÖFFENTLICH VERTEIDIGEN WIRD

DER VERFASSER

Carl Kaiserling

aus Wehlheiden bei Kassel.

OPPONENTEN: Hr. cand. med. Hugo Germer.
„ Dr. med. Richard Germer.
„ cand. med. Hermann Goesche.

BERLIN

C. VOGT's BUCHDRUCKEREI (E. EBERING).

Linkstrasse 16.

Meinen teuren Eltern

zur

silbernen Hochzeit.

In der Gegenwart sind fast alle Forscher auf dem Gebiete der Mikroskopie bemüht, durch Vervollkommnung der Technik die feineren Struktur- und chemischen Verhältnisse der organischen Elemente unserer sinnlichen Wahrnehmung zugänglich zu machen, indem sie die verschiedenartigen, im frischen Präparate schwer zu trennenden Substanzen der Zelle und ihres Kernes oder der intercellularen Teile durch eingreifende Behandlung differenzieren.

Während man so bestrebt ist, die einzelnen Teile und Substanzen einer Zelle genauer zu studieren, nimmt man weniger Rücksicht darauf, die Wirkung des angewandten Reagens auf die Gesamtform und Grösse der Zelle zu bestimmen; einmal, weil das für den Sonderzweck ziemlich ohne Belang ist, und dann wohl auch, weil die uns zu Gebote stehenden Methoden der Grössenbestimmung ziemlich unvollkommen und zeitraubend sind.

Wir können die Grössenveränderungen nur durch Messung bestimmen. Leider ist aber die Mikrometrie der am wenigsten ausgebildete Zweig der Mikroskopie. Das liegt zum grossen Teil an der zu messenden Materie. Um die Grösse eines Körpers mit einiger Zuverlässigkeit bestimmen zu können, muss derselbe eine regelmässige Form haben. Regelmässige Körper finden sich in den tierischen Organismen nur sehr selten, wie z. B. die roten und weissen Blutkörperchen. Die Zellen der verschiedenen Gewebe sind sehr unregelmässig, trotz der schematisierenden Zeichnungen unserer Lehrbücher der Histiologie.

Sodann ist es eine Frage, ob die angewandte Mühe und Zeit durch das Endergebnis aufgewogen wird, ob man wirklich unsere Erkenntnis fördern kann durch die Resultate der Messung.

Wenn man auf andere Zweige der Wissenschaft blickt, so scheint das von vornherein sehr wahrscheinlich. So hat die Chemie einen grossen Teil ihrer Erfolge der Vervollkommnung der Wage zu danken. Die Physiker und Astronomen suchen mit Hilfe der exaktesten Messmethoden und nachheriger Analyse der Ergebnisse tiefer in die Erkenntnis ihrer Materie einzudringen. Was sie so erreichen, zeigt z. B. die Entdeckung des Planeten Neptun aus den messbaren Störungen, die Uranus in seiner Bahn erlitt, oder die theoretische Entdeckung eines Begleiters des Sirius, den erst die Riesenfernrohre der Neuzeit zu verificieren gestatteten. Hierher gehört auch die Entdeckung, dass man aus den Verschiebungen der Frauenhoferschen Linien des Spektrums eines Weltkörpers entscheiden kann, ob er sich uns in seiner Bewegung in der Visirlinie nähert, oder sich von uns entfernt, und mit welcher Geschwindigkeit er das thut. Nicht das Anschauen allein genügt, denn dabei wären die minimalen Veränderungen wohl nicht erkannt worden. Aber sie alle haben es mit nicht organischen Individuen und Substanzen zu thun, welche bestimmten und bekannten Gesetzen gehorchen. Ganz anders verhält sich die organische Welt. Hier kennt man wohl Formen und Erscheinungen, aber kein Gesetz, von dem aus man an einen weiteren Ausbau mit Hilfe der einzigen exakten Wissenschaft, der Mathematik, herantreten könnte.

Die Natur macht keine Sprünge, sagt ein altes Wort, aber wo ist der Ueb ergang von einem toten zu einem lebenden Wesen? Wenn wirklich alles in der Natur Gesetz ist — und das erscheint zweifellos — so kann eine Erkenntnis der Gesetze des Lebens auch nur mit Hilfe der Mathematik erlangt werden. Die Handhaben, welche sie uns bietet, sind nun lediglich die Messmethoden, mit Hilfe deren man Beobachtungen macht, die durch nachherige

Analyse zur Feststellung eines Gesetzes führen. Freilich ist das Ziel wohl noch in weiter Ferne, wenn es überhaupt dem Menschengeiste erreichbar sein sollte. Wenn aber das höchste Ziel, welches uns zum Messen antreibt, auch noch so weit von uns abliegt, so dürfen wir uns doch nicht abhalten lassen, eine Methode zu üben, die uns seine Erreichung ermöglichen kann, zumal, wenn sich näherliegende Dinge erreichen lassen.

Es finden sich in der einschlägigen Litteratur zerstreut Angaben über die Wirkungsweise differenter Stoffe auf frische Organteile. Es ist bekannt, dass Alkohol Schrumpfung macht, Essigsäure Quellung u. s. w., es finden sich auch Schätzungen der Differenzen, aber genaue Messungen sind, soweit ich aus der mir zugängigen Litteratur ersehen konnte, nicht gemacht. Das erscheint aber doch von einiger Wichtigkeit, denn indem die Wirkungen verschiedener Mittel auf dasselbe Gewebe und gleicher Mittel auf verschiedene Gewebe genau festgestellt werden, lassen sich wertvolle Einblicke in die physikalische und chemische Beschaffenheit der untersuchten Objekte erwarten. Freilich ist dazu lange Zeit und Geduld erforderlich; aber die Sache erscheint mir doch wichtig genug, um auf den Wert derartiger methodischer Untersuchungen hinzuweisen und auch andere zu veranlassen, in diesem Sinne an das Studium der Struktur und Beschaffenheit organischer Gebilde heranzutreten, denn:

„Nicht Kunst und Wissenschaft allein,
Geduld muss bei dem Werke sein,“

sagt bereits unser Goethe.

Mit diesen Erwägungen bin ich dann auf Veranlassung meines verehrten Lehrers, Hrn. Dr. Israel, in Gemeinschaft mit Hrn. Richard Germer an die Untersuchung des Einflusses verschiedener Konservierungs- und Fixationsmethoden auf die Grössenverhältnisse der tierischen Gewebe herangetreten.

Da unsere Thätigkeit eine vorwiegend messende sein sollte, so handelte es sich zunächst darum, eine geeignete Methode für die Messungen zu finden.

Die Lehrbücher der Mikroskopie behandeln die Messmethoden zumeist sehr kurz, vielleicht mit einziger Ausnahme von Dippel, das Mikroskop u. s. w. I. Band, und Harting, das Mikroskop. Zumeist beschränkt sich der Verfasser auf die Beschreibung des Ocularmikrometers. Ueber das eigentliche Verfahren beim Messen, die zu erreichende Genauigkeit und die Schwierigkeiten dabei findet sich sehr wenig. So erschien es mir eine vielleicht dankbare Aufgabe zu sein, wenn ich zunächst die Messmethoden selber etwas ausführlicher abhandle, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse des Histiologen.

Jedes Messen beruht auf einer möglichst genauen Vergleichung der zu bestimmenden Grösse mit der eines genau bekannten Maasses. Daher ist das Grunderfordernis zunächst ein solches genau bekanntes Maass zu besitzen. Für die Zwecke des Mikroskopikers dürfte dieses wohl in ausreichender Weise in einem sogenannten Objektmikrometer bestehen. Dasselbe ist ein, auf einem Objektträger aufgetragenes, und in beliebig viele, gleiche Teile geteiltes Intervall. Da gegenwärtig das metrische System das wissenschaftliche Maassystem ist, so dürfte das geeignete Intervall das Millimeter darstellen. Wenn es nun auch der modernen Technik möglich ist, ein solches Millimeter so fein zu teilen, dass zu der deutlichen Auflösung der einzelnen Teilstriche an die optischen Eigenschaften des Mikroskopes die höchsten Ansprüche gestellt werden, so wird man sich doch für die Messung mit einer solchen in 100 Teile begnügen können. Die Teilstriche sollen möglichst fein und gut geschwärzt sein und unter sich gleich weit von einander abstehen. Die Feinheit und Schwärze der Striche ist nötig, damit der Beobachter sicher auf sie pointieren kann. Freilich hat das seine Grenzen. Ich bin im Besitz eines Objektmikrometers, der ein mm in 100 Teile geteilt darstellt, von der bewährten Firma Carl Zeiss in Jena. Die Striche erscheinen bis zu etwa 100facher Vergrösserung fast als Linie. Bei stärkeren Vergrösserungen nimmt die Breite aber recht erheblich zu, so dass bei ca. 250facher Vergrösserung dieselbe schon beinahe

einen halben Millimeter (auf einem Photogramm gemessen) beträgt. Bei solcher Breite ist es natürlich schwer, genau auf die Mittellinie zu pointieren und so empfiehlt es sich, als sicheren Ausgangspunkt die Ränder derselben zu wählen. Um das zu können, ist erforderlich, dass diese möglichst scharf und parallel sind. Ein weiteres Erfordernis ist die Gleichheit der einzelnen Intervalle, deren jedes im gegebenen Falle 10μ betragen sollte. Das dürfte aber wohl nur in den seltensten Fällen zu erreichen sein und so bleibt nichts weiter übrig, als das Mikrometer auf den Wert einer Intervalle prüfen zu lassen. Ich sage absichtlich, prüfen zu lassen, denn nur die allerwenigsten Mikroskopiker dürften dazu selber imstande sein, weil ihnen ja das genau bekannte Vergleichsmaass fehlt. Am praktischsten erscheint es mir, der Normalaichungskommission dieses zu überlassen.

Ich übergehe daher auch die Methoden, mittelst deren eine solche Prüfung ausgeführt wird. Dass sie aber nötig ist, zeigt folgende Tabelle, welche das Prüfungsergebnis meines Mikrometers darstellt und zwar gemessen im Zuge einer Linie, welche durch die Endpunkte der Hundertelmillimeterteilstriche gedacht ist.

Skalenstrich in μ	Fehler in μ	Länge vom Nullpunkt in μ
0	±0,0	0,0
50	—0,1	49,9
100	+0,2	100,2
150	+0,8	150,8
200	+0,6	200,6
250	+0,8	250,8
300	+0,9	300,9
350	+0,2	350,2
400	+0,6	400,6
450	+0,5	450,5
500	+1,2	501,2

Diese Abweichungen fallen bei starken Vergrösserungen schon recht ins Gewicht und da sie sich vermeiden lassen,

so müssen sie vermieden werden. Leider ist aber vielen Mikroskopikern der Wert genauester Messungen noch so wenig einleuchtend, dass sie die Bequemlichkeit der höchsten Genauigkeit vorziehen. Ich möchte daher hier meine Meinung dahin aussprechen, dass gar keine Messung besser ist, als eine schlechte.

Hat man nun ein Maass, dass möglichst genau bekannt ist, so kann man mit Hilfe desselben an die Justierung der eigentlichen Mikrometer gehen. Bevor ich diesen Punkt näher erörtere, möchte ich kurz auf die allgemeinen Fehlerquellen aufmerksam machen. Die grössten Fehler werden gemacht durch mangelnde Uebung im Messen. Wie nirgends, so fällt auch bei dieser, der gewöhnlichen Beschäftigung des Histiologen etwas fern liegenden Hantierung kein Meister vom Himmel. Vor allem übe sich der Anfänger im Schätzen von Unterabteilungen eines Intervalles. Diese Fertigkeit ist bei allen Messungen nötig, da es häufig nicht angeht, die Teilungen so fein zu machen, dass durch direkte Ablesung die Schätzung entbehrlich würde. Bei unseren Messvorrichtungen genügt es meist, noch ein Zehntel des jeweiligen Intervalles zu schätzen, was sich bei hinreichender Ausdauer bald so erlernen lässt, dass man sich — besondere Indispositionen abgerechnet, die auch bei dem geübtesten Beobachter vorkommen — kaum um mehr als ein Zehntel irren wird. Es sei für die folgenden Messungen gleich hier erwähnt, dass Verfasser durch häufige Versuche und immer wiederkehrende Messungen feststellte, dass er sich bei den Schätzungen um noch nicht den erwähnten Betrag irrte, mit Ausnahme vielleicht des gewöhnlichen Ocularmikrometers wegen der dabei leicht eintretenden Ermüdung seiner Augen.

Wer mit Schrauben misst, lerne sie handhaben, möglichst in einem Zuge über die zu messende Grösse hindrehen und dabei jeden Druck vermeiden.

Sodann rate ich, die Messungen nicht länger auszudehnen, als bis sich Ermüdung bemerkbar macht, oder der Beobachter eine gewisse Voreingenommenheit fühlt. Was

da noch gemessen wird, kann getrost als gefälscht betrachtet werden.

Es folgt aus dem Gesagten, dass man Messungen, welche Anspruch auf Genauigkeit und damit auf wissenschaftlichen Wert haben sollen, erst dann zu machen berechtigt ist, wenn man die Methode gründlich beherrscht, d. h. nach etwa 2 bis 3 Wochen, wenigstens bei unsern einfacheren Hilfsinstrumenten. Dann wird auch der Einfluss der Voreingenommenheit die Resultate weniger beeinträchtigen, welche den Ungeübten veranlasst, von vornherein irgend ein Messungsresultat als falsch anzusehen und zu übergehen, weil es mit den anderen nicht recht harmoniert, oder gar eine Versuchsreihe zu beanstanden, weil ihr Resultat nicht mit der Erwartung übereinstimmt.

Um ein Urteil fällen zu können, muss man sich mit dem Gegenstand lange Zeit befasst und ihn auf verschiedene Art und Weise untersucht haben. Wer z. B. Blutkörperchen misst und findet im Durchschnitt die Grösse gleich 7 μ und dann eins von nur 6 μ, der hat zunächst nur die Thatsache zu notieren, und ist nur dann berechtigt, das kleinere in der Rechnung zu übergehen, wenn es unter den 30 Messungen, die er macht, wirklich nur die einzige Ausnahme ist. Er wird dann sagen, dass ausser dem gefundenen mittleren Resultate noch ein oder mehrere Blutkörperchen vorhanden waren, welche kleiner oder grösser waren.

Ganz besonders ist aber davor zu warnen, dass auf solche Befunde gleich ein Urteil über irgend einen Krankheitsprozess gegründet wird, wozu der immer etwas leidenschaftliche Anfänger neigt. Einmal kommen in jedem Blute abnorm grosse und kleine Einzelelemente vor, und sodann ist es recht schwer, zu sagen, ob nicht irgend eine Veränderung mit den betreffenden Blutkörpern vorgefallen ist. Ebensowenig ist es gerechtfertigt, aus dem Umstande, dass ein Mensch der Messung nach etwas grössere Blutkörperchen hat, wie ein anderer, die einen für normal, die anderen für pathologisch zu halten. Das kann einen

ganz anderen Grund haben. Mohl (Zeitschrift für mikroskop. Anatomie) macht darauf aufmerksam, dass derselbe Forscher einen Gegenstand mehrere Male hintereinander messen kann mit einem kleinen mittleren Fehler und ein anderes Mal ebenso, dass aber die beiden Mittelwerte um mehr als den mittleren Fehler von einander abweichen.

Das kommt her von der verschiedenartigen Auffassung des als Ausgangspunkt für die Messung festzulegenden Punktes. Verschiedene Beobachter werden den Zeitpunkt, wann der Mikrometerfaden gerade den Rand des Objektes berührt oder deckt, verschieden beurteilen, und derselbe Beobachter wird es zu verschiedenen Zeiten auch anders thun. Dann können auch Temperaturunterschiede, unruhiger Standort des Messwerkzeuges und andere Ursachen, die mehr oder weniger nicht zu kontrollieren sind, unsere Messungen verschieden gestalten.

Aus alledem entspringt für uns die Notwendigkeit, die Messungen öfter und an verschiedenen Tagen zu wiederholen und von allen das Mittel zu nehmen.

Ueber die Fehlerquellen bei den einzelnen Messinstrumenten folgt das Nähere bei Erörterung derselben.

Wenn wir nun auch so genau wie möglich gemessen haben, so werden doch immer noch Abweichungen und zufällige Fehler vorkommen, die ihren Grund in der Unvollkommenheit alles Menschlichen haben. Diese Fehler sind natürlich nicht zu kontrollieren. Wir werden also niemals die wahre Grösse irgend eines Gegenstandes anzugeben imstande sein, sondern nur einen Wert, welcher der Wirklichkeit sehr nahe kommt, den wahrscheinlichen Wert.

Es ist nun für die Kritik der Messungen sehr wichtig, den Fehler kennen zu lernen, welcher auch bei der genauesten Messung dem gefundenen Mittelwert noch anhaften kann. Gauss hat uns gelehrt, aus den Fehlern der einzelnen Messungen gegen das Gesamtmittel diesen noch zu befürchtenden Fehler zu berechnen. Es kann natürlich nicht meine Aufgabe sein, hier eine Entwickelung der

Formel, die nur durch die höhere Wahrscheinlichkeits- u. Intregralrechnung möglich wäre, zu geben. Ich beschränke mich darauf anzuführen, dass dieselbe auf 3 Voraussetzungen basiert:

1) dass das arithmetische Mittel aus einer unendlichen Summe von Messungen der genaueste, überhaupt mögliche Wert ist,
2) dass ein hinreichend geübter Beobachter bei genügend oft wiederholter Messung ebenso oft zu gross als zu klein misst,
3) und dass endlich dieser Fehler, um den man sich irrt, einen gewissen Betrag nicht überschreitet, d. h. verhältnismässig klein ist.

Es sei nun bezeichnet mit v die Differenzen der einzelnen Messungen gegen das Mittel und mit m die Anzahl der Beobachtungen, so ist der zu befürchtende oder, wie ich ihn kurz nennen will, der mittlere Fehler einer Beobachtung

$$m = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{m - 1}}$$

der mittlere Fehler des Mittels

$$M = \frac{\sqrt{\frac{\Sigma v^2}{m-1}}}{\sqrt{m}} \text{ oder } \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{m\,(m-1}}$$

Weichen die Messungsresultate zweier Körper nicht mehr von einander ab, als das Doppelte des mittleren Fehlers (nach dem Gebrauche der Normalaichungskommission), so können sie als identisch, als gleich betrachtet werden. Ist nun der mittlere Fehler gross, so kann entweder der Gegenstand schwer zu messen sein, was zumeist seinen Grund darin hat, dass infolge unscharfer Ränder ungleichmässig auf dieselben pointiert wird, oder die Gegenstände sind ungleich. Bei der Messung der Blutkörperchen, über die im zweiten Teile das Weitere folgt, hatte ich mich durch zahlreiche Versuche versichert, dass die eigentlichen Messungsfehler sehr klein und gleichartig waren, dass ich mit anderen Worten ziemlich in gleichem Sinne pointierte.

Die einzelnen Messungsfehler gleichen sich im Mittel

aus. Wenn nun beim frischen Blute der Fehler eine gewisse Grösse hatte und bei der Behandlung mit irgend einem Reagenz einen grösseren, so konnte ich schliessen, dass die Wirkung desselben ungleichartig war.

Als Beispiel für die Berechnung des mittleren Fehlers gebe ich die Messung von frischem Taubenblute nach weiter unten angegebener Methode auf dem Negativ. Die Vorzeichen der Fehler lässt man unberücksichtigt.

Längsdurchmesser in mm	v in Einheiten der 2. Decimale.	v^2
3,90	00	000
3,80	10	100
4,00	10	100
3,90	00	000
3,90	00	000
3,80	10	100
3,90	00	000
4,00	10	100
3,90	00	000
3,70	20	400
4,00	10	100
4,00	10	100
3,70	20	400
4,00	10	100
4,00	10	100
3,90	00	000
3,90	00	100
4,00	10	100
4.00	10	100
4,00	10	100
3,90	00	000
3,70	20	400
3,90	00	000
4,00	10	100
3,70	20	400
97.5 : 25 = 3,90		2800

Die Summe der Fehlerquadrate

$$\Sigma v^2 = 2800$$

$$\sqrt{\frac{\Sigma v^2}{m-1}}\sqrt{\frac{2800}{24}} = \sqrt{1\,16{,}67} = 10{,}801.$$

Es ist also der mittlere Fehler einer Beobachtung in Einheiten der letzten Decimale 10,801 oder 0,10801 mm.

Um den Fehler des Mittels zu bekommen, ist nun noch durch $\sqrt{m} = \sqrt{25} = 5$ zu dividieren. Man bekommt dann M = 0,021602 mm.

Da die Vergrösserung in diesem Falle 248.44 betrug, so ist dieser Betrag noch mit 248.44 zu dividieren, um den Fehlerbetrag des eigentlichen Gegenstandes zu bekommen. Das ergiebt 0,000087 mm oder 0,087 μ. Die Blutkörperchen waren im Mittel 3,90 mm gross auf der Platte, in Wirklichkeit also $3.90 : 248.44 = 15.70$ μ (auf 2 Decimalen abgerundet). Diese Grösse kann nun um 0,087 μ falsch sein und zwar zu gross oder zu klein. Wir schreiben also

> Taubenblut frisch ohne Zusatz ergiebt die mittlere Grösse des Längsdurchmessers zu 15,70 $\pm$ 0,87 μ.

So haben wir einen Anhaltspunkt für die erreichte Genauigkeit. Aber noch einen anderen Schluss können wir zur Kritik der Messungen ziehen aus der Berechnung des mittleren Fehlers und zwar zur Beurteilung der nötigen Anzahl von Einzelmessungen bei irgend einer verlangten Genauigkeit. Ein Beispiel erläutere das näher. Wir messen verschiedene Gegenstände und finden bei 2 Messungen einmal G= 4 und das andere Mal $G_1 = 5$.

Dann ist das Mittel 4,5. Wenn wir nun den mittleren Fehler berechnen, so ergiebt derselbe:

$$M = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{m-1}} : \sqrt{m} = \sqrt{\frac{50}{2-1}} : \sqrt{2} = \sqrt{50} : \sqrt{2}.$$

Logarithmisch weiter gerechnet, ergiebt

$$\tfrac{1}{2} \lg 50 = 1{,}69897 : 2 = 0{,}849485.$$
$$-\tfrac{1}{2} \lg 2 = 0{,}30103 : 2 = 0{,}150515.$$
$$0{,}698970.$$
$$n = 5{,}000 = 0{,}5 \text{ mm}.$$

Führen wir dieselbe Rechnung aus für 100 Messungen, die Hälfte zu 4,0 und die andere Hälfte zu 5,0, so erhalten wir als Mittel ebenfalls 4,5, als mittleren Fehler einer Messung 5,925, also fast genau so viel, wie bei 2 Messungen, aber als mittleren Fehler des Mittels 0,05 mm. Daraus folgt, dass bei 100 Messungen die Wahrscheinlichkeit zehn mal grösser ist, dass das Mittel gleich 4,5 ist, als bei 2 Messungen, mit anderen Worten, das Resultat der 100 Messungen ist 10 mal genauer.

Obgleich es dem Anfänger sonderbar erscheint, dass 2 ganz gleiche Resultate verschieden sicher sind, so liegt die Sache doch auf der Hand. Wer weiss denn bei 2 Messungen, ob nicht alle anderen anders ausfallen werden?

Bei der Messung der Taubenblutkörperchen ergiebt sich ein mittlerer Fehler von 0,04—0,09 „, bei der des Frosches 0,1 — nahe 0,2 „, bei je 25 Einzelmessungen. Soll für den Frosch dieselbe wahrscheinliche Genauigkeit des Resultats verlangt werden, so kann durch eine einfache Rechnung die nötige Anzahl Einzelbeobachtungen leicht gefunden werden.

Es ist in der Formel:

$$M = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{m\,(m-1)}}$$

M bekannt, gleich a = 0,08 in oben angeführtem Beispiel für Taubenblut. Ferner ist für Froschblut M bekannt, gleich b = 0,1.

Es ist also für Froschblut

$$b = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{(m-1)\,m.}}$$

Die linke Seite dieser Gleichung soll gleich a werden. Zu dem Ende dividiere man beide Seiten durch a : b, so erhält man

$$b.\,\frac{a}{b} = \frac{a}{b}\sqrt{\frac{\Sigma v^2}{(m-1)\,m.}} \quad \text{oder}$$

$$a = \frac{1}{\frac{b}{a}}\sqrt{\frac{\Sigma v^2}{(m-1)\,m}}$$

$$= \sqrt{\frac{\Sigma v^3}{\frac{b^2}{a^2}(m-1)\,m}} \qquad \text{I.}$$

Nun soll durch Veränderung der Anzahl der m ebenfalls der Wurzelausdruck gleich a werden. Selbstredend wird Σv^2 bei vermehrten Beobachtungen auch grösser. Genau lässt sich nicht feststellen, um welchen Betrag diese Summe wächst, aber man kann annehmen, dass die einzelnen Fehler sich in den früheren Grenzen halten werden. Es ist dann für 25 Beobachtungen der Fehlerbetrag gleich Σv^2 und für x Beobachtungen $\frac{x}{25} \Sigma v^2$ oder für eine beliebige Anzahl der Beobachtungen $\frac{x}{m} \Sigma v^2$ Demnach ist für die zu findende Anzahl von Beobachtungen

$$a = \sqrt{\frac{\frac{x}{m}\Sigma v^2}{x\ (x-1)}} \qquad \text{II}$$

Gleichung I kombiniert mit II ergiebt dann

$$a = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{m(m-1)\frac{b^2}{a^2}}} = \sqrt{\frac{\frac{x}{m}\Sigma v^2}{x\ (x-1)}} \quad \text{also auch}$$

$$\sqrt{\frac{\Sigma v^2}{\frac{b^2}{a^2} m(m-1)}} = \sqrt{\frac{\frac{x}{m}\Sigma v^2}{x\ (x-1)}} \quad \text{Dies ausgerechnet ergiebt}$$

$$x\ (x-1) = \frac{x}{m} \cdot \frac{b^2}{a^2} \cdot m\ (m-1).$$

$$x - 1 = \frac{1}{m} \cdot \frac{b^2}{a^2} \cdot m\ (m-1).$$

$$x = 1 + \frac{b^2}{a^2}\ (m-1).$$

In diese Gleichung setzt man die bekannten Werte ein, in unserem Falle:

$$m - 1 = 24.$$

$$\frac{b^2}{a^2} \quad \frac{0{,}10^2}{0{,}08^2} = \frac{25}{16} \quad \text{und erhalten dann}$$

$$x = 1 + \frac{25}{16} \cdot 24.$$

$$x = 1 + 37.5. \qquad x = 38{,}5 \text{ oder rund } 39.$$

Es müssten also mindestens 39 Messungen gemacht werden. Nur empfiehlt es sich mit Rücksicht auf die Bequemlichkeit im Rechnen, die Anzahl der Beobachtungen so zu wählen, dass $\sqrt{m}$ eine ganze Zahl wird. Es

rechnet sich dann bequem so, dass man zunächst den Fehler einer Beobachtung gleich $\sqrt{\frac{\Sigma v^2}{m-1}}$ ausrechnet und dann durch die aus $\sqrt{m}$ sich ergebende ganze Zahl dividiert. Das Quadrieren der einzelnen Fehler kann man sich sparen, indem man das Ergebnis einer Quadrattafel entnimmt, wie sie den meisten Logarithmentafeln beigegeben ist.

Diese Tafel gestattet ebenso mechanisch auch die Quadratwurzel auszuziehen. Empfehlenswert ist für diese Zwecke: Theodor Wittstein, fünfstellige logarithmisch-trigonometrische Tafeln, Hannover bei Hahn erschienen.

Wir haben also in dieser Rechnung eine Möglichkeit, von vornherein zu bestimmen, welche Anzahl von Messungen zu machen sind, um eine bestimmte Genauigkeit zu erreichen. Es ist zu dem Ende nur nötig, eine vorläufige Messung zu machen, aus einer beliebigen Anzahl derselben den Fehler zu suchen, der dann gleich b in obige Formel eingesetzt wird. Der grösste noch zuzulassende Fehler ist dann gleich a.

Es würde ein kritikloses Arbeiten sein, wollte jemand 100 Messungen machen, wo 25 genügen.

Um die Genauigkeit einer Maassangabe beurteilen zu können, ist es aber durchaus nötig, dass der mittlere Fehler dem Resultate beigefügt wird. Wenn das geschieht, sind auch die verschiedenartigen Abweichungen der Resultate verschiedener Forscher besser zu kontrollieren und zu beurteilen.

Ich komme nun zu einer kurzen Erörterung der einzelnen Messmethoden und teile sie in zwei Gruppen:

1. in diejenigen, bei denen mit Hilfe irgend eines relativen Maasses die Grösse der Gegenstände gemessen wird, wie die Messung mittelst
   a) des Ocularmikrometers,
   b) des Ocularschraubenmikrometers,
   c) eines Projektionsverfahrens,

2. in die, bei denen der Gegenstand direkt gemessen wird, wie
   a) bei dem Objektglasmikrometer und
   b) dem Objektschraubenmikrometer.

Das bekannteste Messwerk ist das Ocularglasmikrometer, dessen Einrichtung ich als bekannt voraussetzen darf. Bei der Anwendung desselben ist es nötig, die wirklichen Werte der Teilungsintervalle für jedes Objektiv zu bestimmen. Viele Optiker geben eine Tabelle mit diesen Werten bei, welche jedoch selten der Wirklichkeit entsprechen und für exakte Messungen nicht ausreichen.

Die etwaigen Abweichungen in der Gleichheit der einzelnen Intervalle können übersehen werden, denn sie dürften bei der schwachen Lupenvergrösserung durch die Ocularlinse niemals einen solchen Betrag ausmachen, dass er wahrnehmbar wird, vorausgesetzt, dass die Skala von einem zuverlässigen Optiker verfertigt ist. Sowohl hier, wie bei allen anderen Instrumenten dieser ersten Gruppe giebt ja die eigentliche Messteilung nicht direkt die wirkliche Grösse an, sondern eine, welche um die Vergrösserung des Objektives zu gross ist. Damit werden auch alle Fehler kleiner. Bei einem Irrtum um 0,1 ist, wenn die Vergrösserung z. B. 100 beträgt, der Fehler bei der Bestimmung der wirklichen Objektgrösse 0,001, während bei der zweiten Gruppe der ganze begangene Fehler ins Gewicht fällt.

Das ist der grosse Vorzug aller der zur ersten Gruppe gehörigen Instrumente.

Es werden nun die Skalenwerte bestimmt, indem man für jedes Objektiv gesondert dieselben mit einem als Objekt benutzten Normalmaass vergleicht. Als Beispiel führe ich diese Bestimmungen für mein Mikrometer von Zeiss an. Als Objekt diente der bereits erwähnte, in 100 Teile geteilte Millimeter von derselben Firma.

Die Bestimmung wird am geeignetsten so gemacht, dass eine Reihe von Unterabteilungen des Testobjektes ausgemessen werden. Bei der folgenden Bestimmung wurde zunächst der Objektskalenteil 0—50 μ, dann 0 - 100 μ

u. s. w. ausgemessen und dann noch mit verschiedenen Teilen des Ocularmassstabes jedes einzelne Intervall, 0—50 μ, 50—100 μ u. s. w. bestimmt und von allen Messungen das Mittel genommen, so zwar, dass auf Teilstrich 0—50 μ, 0—100 μ u. s. f. reduciert wurde. Für jedes dieser Mittel wurde gesondert das reelle Maass ausgerechnet und das Mittel der Einzelwerte als das wahrscheinlichste verwendet. Diese Messungen wurden 3 mal wiederholt und erst das nun sich ergebende Mittel als Maass benutzt. Nur bei einer solchen, wenn auch umständlichen Bestimmung werden die Werte hinreichend genau.

Skalenteile des Objektmikrometers in μ.	A.	B.	D.	E.	Wirkl. Grösse des Objektintervalles
0—50	3.	4.5.	13.	20.	49.9.
0—100	6.05.	9.0.	25.7.	40.2.	100.2.
0—150	9.1.	13.7.	38.2.	60.2.	150.8.
0—200	12.25.	18.25.	51.35.	80.4.	200.6.
0—250	15.3.	22.8.	64.20.	100.4.	250.8.
0—300	18.4.	27.3.	?	120.5.	300.9.
0—350	21.4.	31.9.	89.8.	140.5.	350.2.
0—400	24.4.	36.4.	102.3.	160.5.	400.6.
0—450	27.45.	41.0.	115.0.		450.5.

Die unter A. B. D. E. angeführten Zahlen geben an, wieviele Teilstriche des Ocularmikrometers auf die in der ersten Reihe angegebene Anzahl von μ gehen. Die Oculartеilung besteht aus 0,1 mm. Wenn nun drei solcher Intervalle gleich 49.9 μ sind, so ist eins $=$ 49.9. : 3 $=$ 16,66 μ. Indem nun dieser Wert für jedes Objektintervall ausgerechnet und von allen Werten das Mittel genommen wird, so erhält man für Objektiv

A 1 p. $=$ 16,382 $\pm$ 0,009 μ
B 1 p. $=$ 11,02 $\pm$ 0,02 μ
D 1 p. $=$ 3,901 $\pm$ 0,01 μ
E 1 p. $=$ 2,496 $\pm$ 0.002 μ

Findet sich nun bei Anwendung des Ocularmikrometers z. B., dass ein Taubenblutkörperchen gleich 3,5 p. ist bei Objektiv D, so ist seine wirkliche Grösse, da 1 p. = 3,901 ist, 3,5 mal 3,901 = 13,6535. Man hat also stets die durch Ocularskalenteile ausgedrückte Grösse eines Gegenstandes mit der Zahl zu multiplicieren, welche für den Skalenwert gefunden ist.

Selbstverständlich gelten diese Werte nur für eine ganz bestimmte Tubuslänge, da ja bekanntlich sich durch Veränderung derselben auch die Vergrösserung ändert.

Die Fehler, welche mit dem Ocularmikrometer begangen werden, sind folgende:

Es ist ausserordentlich schwierig, das Bild des Objektes genau in der Ebene des Mikrometers zu halten. Ist das aber nicht der Fall, so wird das Resultat zu gross oder zu klein. Dann ist die Vergrösserung wegen der Wölbung des Bildes nicht über das ganze Gesichtsfeld hin gleich, in der Mitte am geringsten. (Harting, Das Mikroskop). Es ist daher gut, immer nur die Mitte des Gesichtsfeldes zu benutzen; ferner ist die Einstellung der Ränder des Objektes auf die Striche der Teilung bei den gewöhnlichen Mikrometern sehr schwer. Wer mit der Hand das Präparat verschiebt, wird selbst bei grosser Uebung selten eine genaue Deckung erreichen. Leichter ist es bei denjenigen Instrumenten, welche durch eine Schraube das Mikrometerplättchen zu verschieben gestatten. Wer diese Einrichtung nicht hat, muss eben mehrere Einstellungen desselben Körpers machen, und das Mittel in Rechnung ziehen. Ein beweglicher Objekttisch erleichtert das Einstellen ebenfalls.

Wer mit dem Ocularmikrometer also genaue Messungen machen will, muss neben der genauen Bestimmung der Intervallwerte folgende Punkte beachten.

1) stets gleiche Länge des Tubus,
2) möglichst exakte Einstellung des Bildes,
3) Wiederholung jeder Einzelmessung etwa 4 mal.

Die Vorteile des Oculargasmikrometers sind Bequemlichkeit und Billigkeit. Die Anwendung ist am vor-

teilhaftesten bei Messung von durchsichtigen und scharf begrenzten Gegenständen, nicht aber, wenn zahlreiche, stark tingierte Objekte im Gesichtsfeld liegen, weil dann die Striche nicht mehr gut sichtbar sind. Das Messen selbst ist recht anstrengend und bei zahlreichen Objekten z. B. bei Blutkörperchen und dergl zeitraubend.

Ganz ähnlich verhält es sich mit der Messung mittelst Schraubenmikrometers. Hierbei könnte die Genauigkeit noch weit grösser sein, als beim einfachen Glasmikrometer, vorausgesetzt natürlich, dass das Instrument sauber und genau gearbeitet und der Beobachter geübt ist. Ueberhaupt ist die Schraube das genaueste Werkzeug für Längenmessungen.

Als Ocular wird hierbei meist ein sogenanntes positives oder Ramsden'sches benutzt, welches ebenso wie das gewöhnliche Huyghen'sche Ocular aus 2 plankonvexen Linsen besteht, die jedoch beide ihre Wölbungen einander zukehren. Es wirkt als Ganzes wie eine Lupe, und ist aplanatischer als das gewöhnliche Ocular.

Der Brennpunkt liegt dicht unter der unteren Linse. Hier befindet sich auch die Mikrometermarke, ein Strich- oder Fadenkreuz, welches, wie bei dem von Zeiss, Jena, ausgeführten, auf einem Schlitten befestigt, durch die Schraube bewegt wird. Eine andere Einrichtung ist die von Mohl (Archiv für mikroskop. Anatomie I) beschriebene, bei der das Ocular verschoben wird, sodass stets durch den axialen Teil desselben beobachtet wird, was manche Vorteile bietet. Der Kopf der Schraube trägt eine Teilung am besten in 100 Intervalle.

Auf einen Punkt möchte ich hier noch hinweisen, nämlich auf die Beschaffenheit des Mikrometerfadens. Bei den von Zeiss gelieferten Instrumenten besteht er aus einem Strichkreuz, welches um 45° gegen die Fortbewegungsrichtung des Mikrometerschlittens gedreht ist. Dies ist die unzweckmässigste Einrichtung. Es pointiert sich mit dem Schnittpunkt der beiden Linien sehr schlecht, wodurch man zu recht erheblichen Fehlern kommt. Um die Länge eines Gegenstandes genau messen zu können,

muss derselbe in der Richtung der Schraube liegen, denn nur dann geht die Mikrometermarke über die wirkliche Länge hinweg, oder, was dasselbe heisst, die Schraubenteilung giebt den genauen Längenwert. Zur Beurteilung der richtigen Lage des Gegenstandes muss die eine Linie des Kreuzes parallel zur Schraube laufen und genau auf die Mitte des in gleicher Richtung liegenden Objektes gebracht werden können. Dann deutet diese Linie den Weg an, welchen der auf derselben senkrecht stehende eigentliche Messfaden nimmt.

Dieser Faden soll, wie fast alle Beobachter verlangen, ein enger Doppelfaden sein. Der Rand des Objektes wird auf die Mitte zwischen den beiden Linien eingestellt. Diese Einstellung kann um vieles sicherer geschätzt werden als die Koincidenz einer Linie mit dem betreffenden Rande und man braucht sich nicht den Kopf zu zerbrechen über die an dem einfachen Faden stattfindende Beugung des Lichtes.

Es ist wirklich an der Zeit, dass die veralteten und unpraktischen mikroskopischen Messinstrumente endlich die Formen erhalten, welche als die besten anerkannt sind. Nur die geringe Verwendung von Seiten der Forscher könnte eventuell die Saumseligkeit der Optiker entschuldigen. Was soll man dazu sagen, dass der von Zeiss gelieferte Objektschraubenmikrometer nicht einmal die Anwendung der modernen Beleuchtungsapparate gestattet.

Ferner ist ein Fehler der Ocularmikrometer, dass sie nur in einer Richtung zu messen gestatten ohne Drehung des ganzen Apparates. Man misst doch im Mikroskop keine Linien, sondern Flächen, von denen nur die allerwenigsten Kreise sind. Ist z. B. der Längsdurchmesser eines Taubenblutkörperchens gemessen, und es soll nun der Querdurchmesser bestimmt werden, so muss man entweder das Präparat um 90^0 drehen, eine Manipulation, die mit der Hand ein Kunststück ist, mit dem beweglichen Objekttisch zwar etwas erleichtert wird, aber sicher zur Veränderung der Einstellung führt, mit anderen Worten,

die Fehler vermehrt, oder es muss das ganze Mikrometer gedreht werden. Das geht ohne Schwierigkeit nur, wenn das Objekt genau in der Mitte des Gesichtsfeldes liegt. Vielleicht ist auch diesen ungeeigneten, aber beharrlich beibehaltenen Einrichtungen eine gewisse Schuld an der Abneigung der Mikroskopiker gegen das Messen zuzuschreiben.

Und doch ist die Sache leicht geändert. Die Ocularglasmikrometer brauchen nur Netzmikrometer zu werden, und die Schraubenmikrometer müssen 2 Schrauben erhalten, in 2 zu einander senkrechten Richtungen. Sodann soll bei ihnen der ganze Schlittenträger um die optische Axe des Mikroskops drehbar sein, welche Drehung durch einen Positionskreis abzulesen sein muss, um auch Winkelmessungen zu ermöglichen.

Mit Leichtigkeit können dann die einfachen Strichmarken zur Ablesung der Teilungsintervalle durch Nonien ersetzt werden, die Zehntel direkt abzulesen gestatten. So würde das Instrument zwar teuer aber auch brauchbarer werden.

Für die Benutzung des Schraubenmikrometers ist zu beachten, dass die Schraube möglichst in einem Zuge gedreht wird, bis der Mikrometerfaden den anderen Rand des Objektes erreicht. Dabei ist jeder seitliche Druck zu vermeiden, weil sonst der Tubus zur Seite gebogen wird und beim Loslassen der Schraube nachgiebt, wodurch natürlich der Mikrometerfaden seinen Ort ändert. Selbst die kräftigsten Stative geben dem geringen Fingerdruck nach, offenbar weil die Tuben nicht solide mit dem Fuss verbunden sind, sondern durch die Mikrometerschraube getragen werden, ein Umstand, der die Messungen erheblich stört. Mohl hat sich ein sehr zweckmässiges Mikrometer bauen lassen (Arch. f. mikroskop. Anat., Heft 1), welches diesem Übelstande abzuhelfen geeignet ist. Vielleicht ist es noch besser Mikroskop und Mikrometer überhaupt so zu trennen, dass das Mikrometerstativ in keiner Weise das Mikroskop direkt berührt. So wäre doch

wenigstens die Möglichkeit vorhanden, die gewöhnlichen Mikroskope ohne weiteres benutzen zu können.

Ein anderer Fehler, der die Genauigkeit und Gleichmässigkeit der Messungen beeinträchtigt, ist der tote Gang der Schraube, welcher dadurch zustande kommt, dass dieselbe in der Mutter immer noch einen gewissen Spielraum hat. Wurde nun rechts herumgedreht und dann links herum, so wird sich die Schraube um ein gewisses Intervall drehen, ohne den Schlitten mitfortzuführen. Zu dem kommt noch eine andere Verteilung des Oeles in den einzelnen Windungen. Durch zu reichliches Oelen werden die Messungen namentlich anfangs recht unsicher und von den früheren abweichend. Hier gilt nicht das Sprichwort: „Wer gut schmiert, der gut fährt!"

Diese Fehler werden bei den schwachen Ocularvergrösserungen ziemlich bedeutend ausfallen. Etwas lässt sich der tote Gang durch kräftige Gegendurchfedern aufheben, aber je stärker sie sind, um so grösser ist die Gefahr der Biegung des Tubus. Nun ist keine Schraubenspindel ein wirklicher Cylinder, und nicht jeder Schraubengang wie der andere. Diese beiden Mängel verursachen wiederum Messfehler, indem nämlich eine und dieselbe Grösse mit verschiedenen Teilen der ganzen Spindel oder eines Ganges derselben gemessen, nicht überall das gleiche Resultat ergiebt. Wie diese Fehler ermittelt werden, folgt weiter unten bei der Besprechung des Objektschraubenmikrometers. Die Fehler der Verbiegung und unsicheren Einstellung auf die Striche des Objektintervalles machten es mir bei meinem von Carl Zeiss, Jena, bezogenen Ocularschraubenmikrometer unmöglich, eine befriedigende Schraubenfehlerbestimmung auszuführen. Dass das nicht nur an mir lag, geht daraus hervor, dass selbst meine astronomischen Freunde, die in diesen Dingen die grösste Uebung hatten, nicht zu einer genügenden Lösung der Aufgabe kommen konnten.

Die Bestimmung der Werte für die Intervalle der Schraubenteilung geschieht wiederum für jedes Objektiv gesondert mit Hilfe des Normalmasses. Wer die unglück-

liche Einrichtung des schräg liegenden Strichkreuzes an seinem Mikrometer hat, muss so auf die Linien des Objektmikrometers einstellen, dass der Schnittpunkt der Kreuzstriche auf die Mitte derselben fällt und vorher ausprobieren, ob dieser Punkt auch einen Weg zurücklegt, der senkrecht auf den Teilungslinien steht. Hat das Mikrometer einen zur Richtung der Schraube senkrechten Faden, so kann entweder mit diesem auf die Mitte der Objektlinien eingestellt werden, oder aber, was weit besser ist, es wird der Faden zunächst an den einen Rand des Striches so nahe herangebracht, dass nur noch eine ganz feine Lichtlinie zwischen beiden bleibt, sodann ebenso an den anderen Rand und von der Summe der jedesmaligen Trommelablesungen das Mittel genommen. Man schätzt die Breite der Lichtlinie sehr gleichmässig. Sodann wird durch möglichst leichte und ununterbrochene Drehung der Schraube der Faden bis zum anderen Teilstrich fortgeführt und hier ebenso durch Einstellung auf beide Ränder die genaue Mitte festgestellt.

Diese Messung wird häufiger wiederholt. Dabei ist zu beachten, dass der Faden, wenn zurückgemessen werden soll, erst noch ein Stückchen weitergeführt und nun zur alten Einstellung zurückgebracht werden muss, um den bereits erwähnten toten Gang der Schraube zu eliminieren. Er muss ebenso oft in der einen, wie in der anderen Richtung gemessen werden. Das Mittel aus allen Beobachtungen ergiebt den genauesten Wert. Derselbe gilt, falls eine Schraubenfehlerbestimmung nicht gemacht wurde, nur für das Intervall der Schraube, für den er ausgemessen wurde. Für einen anderen Teil ist er anders und müsste ebenso ausgemessen werden. Das ist zeitraubend und so empfiehlt sich die unten angeführte sehr einfache und für einigermassen gut gearbeitete Schrauben völlig ausreichende Methode zur Schraubenfehlerbestimmung. Oder aber der Beobachter kann die verhältnismässig kleinen Fehler übersehen, muss aber dann angeben, dass die Messungen nicht ganz exakt sind. Leider muss das bei den Ocularschraubenmikrometern, die dem Mikroskopiker bis jetzt

angeboten werden, wohl meist der Fall sein, vorausgesetzt, dass Zeiss nicht schlechtere Apparate liefert, als andere Firmen. Daraus folgt aber die Notwendigkeit, die ich nicht genug betonen kann, dass diese Messapparate reformbedürftig sind.

Obgleich das Ocularschraubenmikrometer grösserer Genauigkeit fähig wäre, als alle anderen Messvorrichtungen, so kann ich doch aus oben genannten Gründen denen, die weniger häufig messen, die Anschaffung nicht empfehlen, da die gewöhnlichen Glasmikrometer nahezu dasselbe leisten, wenn die Skala durch eine Schraube verstellbar ist und zwar für 1/4 des Preises.

Wo es irgend angeht, ist das Einstellen auf beiden Seiten des Randes auch bei der Messung mikroskopischer Objekte beizubehalten. Bei stärker gefärbten Objekten geht es freilich nicht an und so muss denn eine möglichst genaue Koincidenz von Rand und Faden erstrebt werden. Durchaus zu verwerfen ist ein ewiges Hin- und Herdrehen und Probieren, ob die Einstellung scharf genug ist, weil durch den toten Gang sich dabei grosse Fehler einschleichen.

Aus allem folgt, dass die Ocularschraubenmikrometer, wie sie heute sind, eine ihrem hohen Preise entsprechende Genauigkeit und Vielseitigkeit in der Anwendung nicht gestatten.

So wird dem Beobachter häufig der Wunsch nach einer anderen Methode aufsteigen. Diese bietet sich ihm in der Anwendung der Projektion des Bildes auf eine ebene Fläche. Wie Dippel in seinem trefflichen Werke näher ausführt (Dippel, das Mikroskop. Bd. 1 pag. 886 ff), können dazu mit Vorteil die gebräuchlichen Zeichenapparate angewendet werden. Voraussetzung ist auch hier, dass der Mikroskopiker hinreichend geübt ist und dass er gut zeichnen kann. Die Höhe der Zeichenfläche muss stets die gleiche sein, ebenso die Neigung derselben. Grosse Sorgfalt ist auf die Konstruktion eines Maassstabes zu legen, da ein grosser Teil der Genauigkeit auf Rechnung der exakten und genauen Ausführung desselben be-

ruht. Dippel empfiehlt die mit Bleistift fein umzogenen Konturen des zu messenden Objekts mit einem Zirkel auszumessen und dann auf dem Maassstabe abzugreifen. Dieser Zirkel müsste wohl am geeignetsten ein solcher sein, dessen Spitzen durch eine Schraube verstellt werden, weil nach meinen Erfahrungen nur so ein gewisses Federn der Zirkelarme zu vermeiden ist. Ueber die näheren Details der Messung mittelst Camera lucida verweise ich auf die angeführte Arbeit.

Diese Methode leitete mich über zur Anwendung der Photographie als Projektionsmittel. Bei meinen Untersuchungen über die Einwirkungen verschiedener Zusatzflüssigkeiten auf die roten Blutkörperchen und sonstige tierische Zellen war es oft nötig, sehr rasch eine genügende Anzahl von Messungeu zu machen, so dass ich mit keiner der vorstehenden Methoden auskam. Um die einzelnen Blutpräparate mit einander vergleichen zu können, entnahm ich aus derselbeu Stelle hintereinander Proben und setzte ihnen die verschiedenen Reagenzien zu, so dass ich oft 8—10 Präparate zu messen hatte. Es ist für 50 Messungen bei Anwendung des Ocularglasmikrometers etwa $^1/_2$ Stunde erforderlich; bei 10 Präparaten sind das 5 Stunden! Abgesehen von den zu befürchtenden sekundären Veränderungen des Präparates, dürfte das aber wohl über die Leistungsfähigkeit eines Menschen hinausgehen. Die anderen Methoden erfordern noch mehr Zeit.

Bei der Untersuchung der Säugetiereier wurde, um einen sicheren Ausgangspunkt für die Beurteilung der Wirkung zu haben, das betreffende Ei erst frisch, dann in Kochsalzlösung, dann z. B. in Sublimat und Alkohol untersucht und gemessen. Hier bot die Photographie den nicht zu unterschätzenden Vorteil, dass sie das jeweilige Bild festhalten und nach Jahr und Tag noch zur Kontrolle und als Beweisstück zu verwenden gestattete. Zudem kann man jederzeit messen und so nach dem Prinzip der Arbeitseinteilung Ueberanstrengungen vermeiden.

Die Messung wird am geeignetsten auf dem Negativ

vorgenommen. Ich habe bei meinen Messungen so verfahren, dass ich die Negative auf dem Glastisch eines einfachen sog. Durchleuchters, wie er in O. Israels Praktikum der pathologischen Histiologie abgebildet ist, mit ca. achtfacher Vergrösserung betrachtete. Als Maassstab wurde eine Millimeterskala mit Unterabteilungen von halben Millimetern (auf einen Objektträger aufgetragen) benutzt. Durch die Halbierung der Millimeter wird sowohl die Schätzung der Zehntel erleichtert, als auch dem weniger Geübten noch eine annähernd zuverlässige Schätzung von Zwanzigsteln ermöglicht. Die letztere ist insbesondere erwünscht bei der Bestimmung des Reduktionscoëfficienten. Auch hier wird ja das vergrösserte Bild des Objektes gemessen, man hat also durch die Vergrösserung zu dividieren. Um diese zu bestimmen, photographierte ich das Objektmikrometer unter denselben Umständen wie das Präparat, und mass das Photogramm mit der Millimeterskala aus und zwar wieder von 0—50 μ, 0—100 μ u. s. w., weil die Messungs- und Schätzungsfehler bei einer grösseren Strecke natürlich weniger ins Gewicht fallen, als bei einer kürzeren.

Ehe ich ein Beispiel anführe, habe ich noch auf einige Kleinigkeiten aufmerksam zu machen. Präparat und Mikrometer sollen möglichst unter gleichen Umständen photographiert werden, d. h. unmittelbar nach einander, bei der gleichen Beleuchtung und der gleichen Kamera- und Tubuslänge. Die Objektträger sollen möglichst gleich dick sein, weil ja der Abstand von der Frontlinse des Projektionsoculares und der Einstellscheibe sich verändert durch die nötige Aenderung in der Einstelluung. Damit wird die Vergrösserung grösser oder kleiner, allerdings um recht geringe Beträge, bei 1,2 mm. Unterschied etwa 0,5. Es ist ferner notwendig, falls viele Aufnahmen hintereinander zum Zwecke vergleichender Messungen gemacht werden sollen, das Mikrometer öfter, einmal am Anfang, einmal in der Mittte und schliesslich am Ende aufgenommen werden muss, damit störende Einflüsse, die während der Dauer der Versuche zur Veränderung des

Plattenabstandes beitragen, ausgeschlossen werden können. Namentlich hat sich mir die steigende Temperatur als ein nicht zu unterschätzender Faktor ergeben. An einem Tage, als die Temperatur in unserem engen Arbeitsraume von 12^0 bis zu 20^0 gestiegen war, hatte sich auch die Vergrösserung gesteigert von 248,36 auf 248,47 und 249,51 und nach etwa 3stündiger Arbeitsdauer auf 250,00. Das Thermometer zeigte dann allerdings 24^0 C. Als die Witterung draussen nicht mehr ein intensiveres Heizen erforderte, hielt sich die Vergrösserung sehr konstant auf 248,44. Jedenfalls genügt eine einmalige Bestimmung der Vergrösserung nicht für die ganze Tageszeit. Ich arbeitete mit dem grossen Zeiss'schen Apparate. Derselbe gestattet bekanntlich die gesammte Kamera in einer Führung zu verschieben. Davor möchte ich bei Aufnahmen für Messungen warnen, denn das ändert die Vergrösserung ganz erheblich, wenn nicht ganz sorgfältig angebrachte Marken die völlige restitutio ad integrum ermöglichen. Es ist demnach am einfachsten, die Kamera in eine solche Entfernung vom Mikroskop zu bringen, dass der vordere, mit dem Lichtabschluss verschene Teil bei vollem Auszuge ein für alle Mal die gleiche Stellung zum Mikroskop einnimmt. Ich benutze stets den ersten Teil der Kamera und zog ihn so weit aus als möglich. Wollte ich am Mikroskop direkt einstellen, so brauchte ich nur den vorderen Teil zurück zu schieben und hatte so genügend Raum. Ebenso muss das Projektionsocular immer die gleiche Einstellung haben und die Tubuslänge unverändert bleiben.

Zur Bestimmung der Vergrösserung photographierte ich die ersten Teile meines Mikrometers und fand z. B. bei Mikrometer 167 folgendes Ergebnis: I. ist das Mikrometerintervall, W. der Wert seiner Intervalle auf der Platte in mm des Massstabes, I* ist die wirkliche Grösse der Intervalle in μ, V. die sich ergebende Vergrösserung, auf 2 Decimalen abgerundet.

I.	W.	I*	V.
0—50	12.4	49.9	248.48
0—100	24.9	100.2	248.49

0—150	37.45	150.8	248.34
0—200	49,85	200,6	248.50
0—250	62.3	250.8	248.40

Daraus ergiebt sich das Mittel 248,44 ± 0,03.

Der zu befürchtende Fehler bei dieser Bestimmung ist also recht klein. Auf das Verfahren bei der Mikrophotographie kann ich hier nicht näher eingehen. Einen trefflichen Leitfaden hat uns Neuhaus in seinem Lehrbuch der Mikrophotographie gegeben. Jedoch glaube ich nicht, dass jemand sie leicht aus einem Buche erlernen wird. Zu einem erfolgreichen Arbeiten auf diesem Gebiete gehört eigene Erfahrung und eigenes Urteil. Ich verwendete als Lichtquelle das Zirkonlicht, dessen Benutzung durch die Herstellung komprimierten Sauerstoffs, der von Dr. Th. Elkan, Berlin N., Tegelerstr., in Stahlcylindern geliefert wird, sehr erleichtert ist. Ich sage hier Herrn Dr. Elkan meinen Dank, dass er durch liebenswürdiges Entgegenkommen es mir ermöglichte, diese, meinen bescheidenen Mitteln sonst unzugängliche Lichtquelle zu benutzen.

Mit Hilfe eines Kondensorensystem leitete ich auf meine Art das Licht zum achromatischen Kondensor und Präparat. Wie diese Art ist, sei schweigend übergangen, um nicht etwa Streitigkeiten zu verursachen, welche absolut zu nichts führen. Durch zahlreiche Misserfolge kam ich zu dem Schlusse, dass die gebräuchlichen und in den betreffenden Lehrbüchern angegebenen Beleuchtungsarten für mich nicht geeignet seien. Das liegt natürlich nicht an den Methoden und den Vertretern derselben, sondern an meinem Ungeschick. Vorsichtshalber sei das hier erwähnt.

Der Beleuchtungskegel war der Apertur der benutzten Zeiss'schen Apochromate angepasst. Gewöhnlich verwendete ich Apochromat 8 mm von Zeiss. Farbenfilter u. dergl. wurde nur bei künstlich gefärbten Objekten angewendet. Zur Projektion diente das Projektionsocular 4. von obengenannter Firma.

Die Wölbung des Gesichtsfeldes ist bei den Apo-

chromaten leider so bedeutend, dass immer nur ein kleiner Teil der Mitte des Gesichtsfeldes benutzbar ist.

Dass auch das Projektionsocular kein planes Gesichtsfeld hat, kann man leicht erkennen, wenn auf die Blende desselben ein Netzmikrometer aufgelegt, und dieses durch Verschieben des Projektionskopfes auf der Einstellscheibe scharf eingestellt wird. So musste ich mich meist bei voll ausgezogenem ersten Kamerateil mit einem Gesichtsfeld von etwa 8 cm Durchmesser begnügen.

Die Folge der Wölbung ist auf dem Photogramm natürlich Unschärfe. Die Platte accomodiert nicht, wie das Auge beim Messen mit den Ocularen. Ferner ist die Tiefe der Apochromate eine sehr geringe. Alle diese Umstände, welche bisher noch verhindert haben, dass die Mikrophotographie allgemeiner angewendet wurde, fallen natürlich bei der Aufnahme zu Messzwecken auch in's Gewicht, verursachen aber, dass auch alles, was gleichmässig scharf erscheint, vollwertig in Rechnung gezogen werden kann. Ein Wechsel in der Einstellung, womöglich beim Messen desselben Körpers, der, wie wir oben gesehen haben, sonst recht leicht zu Stande kommt, fällt hier fort.

Wer auf die Anfertigung der abzubildenden Präparate die grösste Sorgfalt verwendet, der wird trotz dieser Mängel immer hinreichend viele Objekte in ein Gesichtsfeld bringen können.

Die Exposition betrug bei der geschilderten Anordnung 1—2 Sekunden. Nicht berücksichtigt habe ich bei meinen Messungen die Veränderungen, welche die lichtempfindliche Gelatineschicht durch die nachfolgenden Proceduren des Entwickelns, Fixierens, Waschens und Trocknens etwa erleidet. Ueber diese Hantierungen lässt sich auch viel sagen und streiten. Hier mag jeder nach seiner Façon selig werden.

Die Messung der Negative nahm ich vor, wie eben geschildert wurde.

Ich ziehe den Glasmaassstab dem Zirkel vor, weil man einmal die Gelatineschicht nicht so leicht verletzen,

dann, weil man die Richtung, in welcher die Messung stattfindet, leichter und sicherer beurteilen kann und schliesslich, weil das Messen mit dem Zirkel mehr Zeit in Anspruch nimmt. Dadurch dass der Massstab leicht in jede beliebige Richtung und an jede Stelle der Platte hingebracht werden kann, nimmt die Messung selber viel weniger Zeit in Anspruch, als jede andere Methode. 60 Messungen erfordern etwa bei Blutkörperchen 7—9 Minuten Zeit, allerdings mit der Voraussetzung, dass ein anderer die Masse nach Diktat aufschreibt.

Ferner erscheint es mir viel leichter auf der Platte in bestimmter Weise zu pointiren, als bei allen anderen Methoden, was wohl durch die ganz ungehinderte Beweglichkeit des Maassstabes sich erklärt. Infolge dessen fallen auch die Einzelmessungen viel regelmässiger aus.

Um meinen persönlichen Fehler zu ermitteln, liess ich mir von einer Anzahl von Mikrometerphotogrammen beliebige zum Messen einstellen, so dass ich nur die überall gleiche Teilung sah. Eins derselben habe ich in 14 Tagen 5 mal zu messen bekommen, und sämtliche 5 Messungen sind bis auf die Zwanzigstel der Millimeterskala absolut gleich. Die grösste Abweichung betrug bei einer anderen Platte unter 5 Messungen an 2 Stellen je $^1/_{20}$. Derselbe Versuch wurde mit Herrn Germer unternommen, welcher vorher nie gemessen hatte. Nach etwa 14 Tagen war er imstande, die Zehntel so sicher auf dem Negativ zu messen und zu schätzen, dass Abweichungen in ihnen nicht mehr vorkamen. Ein Irrtum um $^1/_{20}$ mm auf dem Negativ entspricht bei 250 facher Vergrösserung aber nur 0,2 μ im Objekt bei einer Messung. Bei einer grösseren Anzahl von Messungen kommt er kaum in Betracht.

Dass die Photographie namentlich da ein sehr wichtiges Hilfsmittel für die Messung ist, wo es sich um rasch veränderliche Objekte handelt, ist bereits oben erwähnt.

Die Resultate sind verhältnismässig sehr genau und werden wohl von denen anderer Methoden nicht übertroffen werden. Allerdings ist exaktes Arbeiten nötig,

scharfe Einstellung und genaue Bestimmung der Vergrösserung. Wer dieselbe direkt auf der matten Scheibe bestimmt, kann natürlich eben so wenig genaue Resultate erwarten, wie der, welcher auf unscharfen Negativen misst.

Schliesslich habe ich noch einige Worte über die Messmethoden zu sagen, bei denen die Grösse des Objekts direkt gemessen wird. Dies geschieht entweder mit dem Maassstabe, indem man den Gegenstand auf einen Objektmikrometer legt, oder, indem aus der Umdrehung einer genauer bestimmten Schraube die Grösse desselben abgeleitet wird.

Die Unzweckmässigkeit der ersteren Einrichtung liegt so auf der Hand und ist so vielfach besprochen, dass ich sie hier übergehen kann.

Viel brauchbarer sind die Objektschraubenmikrometer, den frommen Wunsch vorausgesetzt, dass sie zu allgemeinem Gebrauch eingerichtet sind. Die gebräuchlichste Einrichtung ist die, dass die Schraube einen Schlitten, der bei der Zeiss'schen Einrichtung einen drehbaren runden Tisch mit Kreisteilung trägt, in einer entsprechenden Führung fortbewegt. Die Trommel der Schraube ist in 100 Teile geteilt, deren Wert von dem Optiker angegeben wird, bei Zeiss zu 2 μ. Diese Einrichtung wird auf den Mikroskoptisch aufgesetzt und hier festgeklemmt. Bei Zeiss ist nun die Oeffnung des als Führung dienenden Tisches so klein, dass sie weder die Anwendung des Abbe'schen Beleuchtungsapparates noch der Cylinderblenden gestattet, d. h. mir nicht gestattet. Dem wäre aber leicht abzuhelfen. Da bei der Anbringung des Mikrometers auf dem Objekttisch der für das Ocularschraubenmikrometer so störende Fehler der ungenügenden Stabilität unserer Mikroskope wegfällt, so wäre hier die oben erwähnte Einrichtung mittelst Kreuzbewegung sehr leicht möglich. Einen sehr erfreulichen Fortschritt in dieser Richtung zeigt das von R. Fuess (Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Band 7 pag 177 ff.) beschriebene mineralogische Mikroskop. Wenn der dort angegebene Objekttisch mit den nötigen

feinen Mikrometerschrauben versehen als Objektmikrometer ausgeführt würde, so hätte man ein wirklich gutes Instrument. Die grösste Beachtung verdient auch die Einrichtung des Kondensors, welcher sowohl paralleles als konvergentes Licht bequem anzuwenden gestatten soll, wie z. B. Wülfing ihn beschrieben hat. (Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie Band VI pag. 545)

Weiter oben wurde bereits gesagt, dass bei der direkten Messung eines mikroskopischen Objekts alle Fehler, die dabei gemacht werden, in ihrer ganzen Grösse in Rechnung stehen. Darum müssen hier um so sorgfältiger alle Fehlerquellen, die zu vermeiden sind, vermieden werden.

Als Fixpunkt für die Messung dient ein im Ocular ausgespannter Faden, oder besser Doppelfaden. Hierauf wird der eine Rand des Objekts eingestellt, und nachdem die Trommelablesung notiert ist, der Schlitten durch die Schraube fortgeführt bis zum anderen Objektrande. Um nun die Fehler, welche durch die Beschaffenheit der Schraube bedingt sind, zu eliminieren, empfiehlt sich die von Bessel angegebene Methode, welche dem Nichtmathematiker die Sache sehr erleichtert. Bei der Drehung der Schraube gelten die oben angeführten Vorsichtsmaassregeln.

Das Verfahren besteht darin, dass man ein bestimmtes Intervall an den verschiedenen Teilen der Schraube ausmisst. Als Intervall werde ein solches gewählt, welches etwa 0,3 oder 0,7 Umdrehungen entspricht. Um zu zeigen, dass es nicht gleichgültig ist, welches Intervall gewählt wird, will ich, fast möchte ich sagen als abschreckendes Beispiel, für die folgende Berechnung eins wählen, das nahezu gleich 0,5 Umdrehungen ist.

Zunächst wird die Schraube so gestellt, dass die Ablesung 0 ist, der Ocularfaden auf die erste Linie des Intervalls in der beschriebenen Art eingestellt und ausgemessen. Die Messung ist öfter zu wiederholen und erst das Mittel von diesen Einzelmessungen in Rechnung zu stellen. Es ist zu empfehlen, als Ocularmarke den Faden

eines Schraubenmikrometers zu wählen, weil dieses eine genaue Einstellung auf den Intervallstrich gestattet, während eine annähernde Einstellung mit der Hand auf eine feste Marke immer noch eine nachträgliche feinere Korrektur mit der Objektmikrometerschraube erfordert. Da späterhin mit Winkeln gerechnet wird, die den Anfangsablesungen entsprechen, kann das Ausrechnen der Winkelgrösse erleichtert werden, weil Schraubenablesung

p. 0 in Winkelgraden ausgedrückt gleich 0^0 ist; p. 10 = 36^0, p. 20 = 72^0, p. 30 = 108^0, p. 40 = 144^0, p. 50 = 180^0, p. 60 = 216^0, p. 70 = 252^0, p. 70 = 252^0, p. 80 = 288^0, p. 90 = 324^0.

Das gleiche Intervall wird dann ausgemessen von Teilstrich 10, 20, 30 u. s. w. der Trommel aus und zwar über mehrere (etwa 4—5) Umdrehungen hin. Sodann werden die entsprechenden Ablesungsmittel der verschiedenen Umdrehungen zusammengefasst und von ihnen das Mittel gebildet. In folgendem Beispiel waren 2 Umdrehungen gemessen. Bei Anfangsablesung 0 ergab sich als Länge des Intervalls in Einheiten der 4. Decimale für U 1 : 5023, für U 2:5008, Mittel:5016. Bezeichnen wir nun diese Mittel mit

$$w_0,\ w_1,\ w_2,\ \ldots\ w_9,$$

wobei der angefügte Index die Zehntel der Schraubenumdrehung bezeichnet, und das Mittel dieser Werte mit w, w werde gebildet

$$\begin{aligned} l_0 &= w - w_0 \\ l_1 &= w - w_1 \\ l_2 &= w - w_2 \\ &\ldots\ldots \\ &\ldots\ldots \\ l_9 &= 10 - w_9. \end{aligned}$$

In vorliegendem Beispiel sind die Werte für

$w_0 = 5016$	$w_5 = 4961$
$w_1 = 4965$	$w_6 = 5030$
$w_2 = 4952$	$w_7 = 5056$
$w_3 = 4921$	$w_8 = 5046$
$w_4 = 4917$	$w_9 = 5030$
	also $w = 0.4989$

$l_0 = -27$	$l_5 = +28$
$l_1 = +24$	$l_6 = -41$
$l_2 = +37$	$l_7 = -67$
$l_3 = +68$	$l_8 = -57$
$l_4 = +72$	$l_9 = -41$

Zur bequemen Schreibweise setze man nun $^1/_2\ w = g$, und die einzelnen Anfangsablesungen der Trommel in Winkelgraden ausgedrückt gleich L mit den entsprechenden Indices, und bilde

($g = 0{,}2495 = 89^0\ 49'.2$ oder rund 90^0)

$\lambda_0 = L_0 + g = 89^0\ 49'.2$	$\lambda_5 = L_5 + g = 269^0\ 49'.2$
$\lambda_1 = L_1 + g = 125^0\ 49'.2$	$\lambda_6 = L_6 + g = 305^0\ 49'.2$
$\lambda_2 = L_2 + g = 161^0\ 49'.2$	$\lambda_7 = L_7 + g = 341^0\ 49'.2$
$\lambda_3 = L_3 + g = 197^0\ 49'.2$	$\lambda_8 = L_8 + g = 17^0\ 49'.2$
$\lambda_4 = L_4 + g = 233^0\ 49'.2$	$\lambda_9 = L_9 + g = 53^0\ 49'.2$

Es ist nun

$$x_1 = {}^2/_{10}\ (l_0 \sin \lambda_0 + l_1 \sin \lambda_1 + l_2 \sin \lambda_2 \ldots + l_9 \sin \lambda_9)$$
$$y_1 = {}^2/_{10}\ (l_0 \cos \lambda_0 + l_1 \cos \lambda_1 + l_2 \cos \lambda_2 \ldots + l_9 \cos \lambda_9)$$
$$x_2 = {}^2/_{10}\ (l_0 2\sin \lambda_0 + l_1 2\sin \lambda_1 + l_2 2\sin \lambda_2 \ldots + l_9 2\sin \lambda_9)$$
$$y_2 = {}^2/_{10}\ (l_0 2\cos \lambda_0 + l_1 2\cos \lambda_1 + l_2 2\cos \lambda_2 \ldots + l_9 2\cos \lambda_9)$$

Bei der Rechnung kann nun immer das 1. u. 5., 2. u. 6, u. s. w. Glied zusammengesetzt werden, weil sich die sin u. cos, die um 180^0 verschieden sind, in verschiedenen Quadraten liegend nur durch das Vorzeichen unterscheiden, z. B. $l_0 \cdot \sin 89^0 + l_5 \sin 269^0 = l_0 \sin 89^0 + (-\sin 89^0\ l_5)$ oder $= (l_0 - l_5) \sin 89^0$. Daher lässt sich der Klammerausdruck auch schreiben:

$$\Sigma\ li \sin \lambda i = (l_0 - l_5).\ \sin\ 89^0\ 49'.3$$
$$+ (l_1 - l_6).\ \sin\ 125^0\ 49'.2$$
$$+ (l_2 - l_7).\ \sin\ 161^0\ 49'.2$$
$$+ (l_3 - l_8).\ \sin\ 197^0\ 49'.2$$
$$+ (l_4 - l_9).\ \sin\ 223^0\ 49'.2$$

Nun enthält aber bekanntlich die Logarithmentafel nur die Funktionen der Winkel bis 90° und dementsprechend sind die Ausdrücke umzuformen. So ist sin 125° 49′.2 = sin 180°—54° 10′.8 = + sin 54° 10′.8 u. sin 197° 49′.2 = sin 180° + 17° 49′.2 = — sin 17° 49′.2.

Demgemäss haben wir also zu setzen:

$$\begin{aligned}\Sigma \text{ li sin } \lambda i = &(l_0 - l_5) \text{ sin } 89^\circ\ 49'.2\\ &+ (l_1 - l_6) \text{ sin } 54^\circ\ 10'.8\\ &+ (l_2 - l_7) \text{ sin } 18^\circ\ 10'.8\\ &- (l_3 - l_8) \text{ sin } 17^\circ\ 49'.2\\ &- (l_4 - l_9) \text{ sin } 53^\circ\ 49'.2.\end{aligned}$$

Ebenso für die Cosinus der Formel für y_1.

$$\begin{aligned}\Sigma \text{ li sin } \lambda i = (l_0 - l_5) \cos\ 89^\circ\ 49'.2 &= + (l_0 - l_5) \cos 89^\circ\ 49'.2\\ (l_1 - l_6) \cos\ 125^\circ\ 49'.2 &= - (l_1 - l_6) \cos 54^\circ\ 10'.8\\ (l_2 - l_7) \cos\ 161^\circ\ 49'.2 &= - (l_2 - l_7) \cos 18^\circ\ 10'.8\\ (l_3 - l_8) \cos\ 197^\circ\ 49'.2 &= - (l_3 - l_8) \cos 17^\circ\ 49'.2\\ (l_4 - l_9) \cos\ 223^\circ\ 49'.2 &= - (l_4 - l_9) \cos 53^\circ\ 49'.2\end{aligned}$$

Dasselbe ist für x_2 u. y_2 durchzuführen. Warum das hier nicht geschieht, folgt weiter unten.

In unserm Beispiel ist nun

$$\begin{aligned}l_0 - l_5 &= -27 - (+28) = -55\\ l_1 - l_6 &= +24 - (-41) = +65\\ l_2 - l_7 &= +37 - (-67) = +104\\ l_3 - l_8 &= +68 - (-57) = +125\\ l_4 - l_9 &= +72 - (-41) = +113 \text{ und}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&\sin 89^\circ\ 49'.2 \text{ nahe } 1.00000 \quad \cos 89^\circ\ 49'.2 = 0.00314\\ &\sin 54^\circ\ 10'.8 = 0.81086 \quad \cos 54^\circ\ 10'.8 = 0.58524\\ &\sin 18^\circ\ 10'.8 = 0.31208 \quad \cos 18^\circ\ 10'.8 = 0.95008\\ &\sin 17^\circ\ 49'.2 = 0.30602 \quad \cos 17^\circ\ 49'.2 = 0.95203\\ &\sin 53^\circ\ 49'.2 = 0.80716 \quad \cos 53^\circ\ 49'.2 = 0.59032, \text{ also}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_1 &= {}^2/_{10}\ (-55 + 53 + 32 - 38 - 91)\\ &= {}^2/_{10}\ (-99) = -{}^{198}/_{10} = -19{,}8 \text{ und}\\ y_1 &= {}^2/_{10}\ (+0 - 38 - 99 - 119 - 67)\\ &= {}^2/_{10}\ (-323)\\ &= -64.6.\end{aligned}$$

Nun berechnet man

$$\beta_1 = -\frac{x_1}{2 \sin g} \qquad \alpha_1 = \frac{y_1}{2 \sin g}$$

$$\beta_2 = -\frac{x_2}{2 \sin g 2 g} \qquad \beta_2 = \frac{y_2}{2 \sin 2 g}$$

und hat dann als Korrektionsformel

$$C = \alpha_1 \sin L + \beta_1 \cos L + \alpha_2 \sin 2 L + \beta_2 \cos 2 L.$$

Im vorliegenden Falle ist 2 sin g nahe zu = sin 90° also gleich 1. β_1 hat hier den genauesten Wert, denn selbst wenn x_1 noch mit einem geringen Fehler behaftet ist, so wird dieser noch durch 2 dividiert. Anders aber β_2. sin 2 g ist sin 180° = 0 u. 2.0 ist auch 0, und diese unendlich oft in x_2 enthalten, mit anderen Worten, β_2 ist nicht zu bestimmen. Das ist der Grund. weshalb das Intervall ungünstig gewählt ist. Beide Werte werden gleich genau werden, wenn das Intervall, wie schon oben angegeben 0,3 oder 0,7 der Schraubenumdrehung beträgt.

$$\beta_1 = -\frac{x_1}{2 \sin g} = \frac{19.8}{2.1} = 9.9 \text{ (g genähert} = 90^0)$$

$$\alpha_1 = +\frac{y_1}{2 \sin g} = \frac{-64.6}{2} = -32.3.$$

Da wir die Werte β_2 und α_2 nicht bestimmen können, müssen wir uns mit der ersten Hälfte der Korrektionsformel begnügen, die für den vorliegenden Fall also lautet

$$C = -32. \sin L + 10 \cos L.$$

Diese Formel war ausgerechnet für jedes Zehntelintervall, also Trommelablesung 00 u. s. w. in Graden ausgedrückt, ergiebt

L_0	=	0°	sin 0°	=	0.0.	cos	= 1.000
L_1	=	36	sin	=	0.584.	cos	= 0.809
L_2	=	72	sin	=	0.951.	cos	= 0.309
L_3	=	108	sin	=	0.951.	cos	= − 0.309
L_4	=	144	sin	=	0.584.	cos	= − 0.809
L_5	=	180	sin	=	0.000.	cos	= − 1.000
L_6	=	216	sin	=	− 0.584.	cos	= − 0.809
L_7	=	252	sin	=	− 0.951.	cos	= − 0.309
L_8	=	288	sin	=	− 0.951.	cos	= + 0.309
L_9	=	324	sin	=	− 0.584.	cos	= + 0.809

und danach ausgerechnet

$$C_0 = - 0 + 10 = + 10$$
$$C_{10} = - 18.7 + 8.1 = - 11$$
$$C_{20} = - 30.4 + 3.1 = - 27$$
$$C_{30} = - 30.4 - 3.1 = - 33$$
$$C_{40} = - 18.7 - 8.1 = - 27$$
$$C_{50} = 0 - 10.0 = - 10$$
$$C_{60} = + 18.7 - 8.1 = + 11$$
$$C_{70} = + 30.4 - 3.1. = + 27$$
$$C_{80} = + 30.4 + 3.1. = + 33$$
$$C_{90} = + 18.7 + 8.1. = + 27$$

Um nun für jedes Hundertel den Korrektionsbetrag zu finden, genügt es vollauf diese Beträge in einer Kurve auf Millimeterpapier aufzutragen und danach die Tabelle anzufertigen. Die Zahlen geben sämtliche Einheiten der letzten 4. Decimale. Das wurde auch in diesem Falle gemacht und die Tabelle erhalten, S bedeutet Schraubenablesung, C die nötige Korrektion.

S.	C.	S.	C.	S.	C.	S.	C.	S.	C
00	+10	21	—28	41	+25	61	+13	81	+33
01	+ 8	22	29	42	+25	62	+15	82	+33
02	+ 5	23	—30	43	—23	63	+17	83	+33
03	+ 3	24	—31	44	—22	64	+18	84	+32
04	+ 1	25	—32	45	—18	65	+20	85	+32
05	— 2	26	—32	46	—16	66	+22	86	+31
06	— 3	27	—33	47	—15	67	+23	87	+30
07	— 5	28	—33	48	—14	68	+24	88	+29
08	— 7	29	—33	49	—12	69	+26	89	+28
09	— 9	30	—33	50	—10	70	+27	90	+27
10	—11	31	—33	54	— 8	71	+28	91	+25
11	—13	32	—33	52	— 5	72	+29	92	25
12	—15	33	—33	53	— 3	73	+30	93	23
13	—17	34	—32	51	— 1	74	+31	94	22
14	—18	35	—32	55	+ 2	75	+32	95	18
15	—20	36	—31	56	+ 3	76	+32	96	16
16	—22	37	—30	57	+ 5	77	+33	97	15
17	—23	38	—29	58	+ 7	78	+33	98	14

18	—24	39	—28	59	+ 9	79	+33	99	+12
19	—26	40	—27	60	—11	80	+33	100	+10
20	—27								

Haben wir z. B. ein Intervall zu messen und machen die Anfangablesung 0,7361, so finden wir für die Korrektur in der Tafel für Ablesung 73 die Korrektur + 30, für den Betrag der Endablesung von z. B. 2,2943 für 29—33 und zwar in Einheiten der 4. Stelle nach dem Komma, die verbesserten Beträge sind also 0,7394 und 2,2910.

Auf die Weise, die thatsächlich nicht schwer auszuführen ist, kann man die Fehler leicht eliminieren, die sonst durch die Ungleichmässigkeit der Schraube der Messung anhaften würden. Wer noch grössere Genauigkeit anstrebt, dem ist die Methode von Dr. Domke (Beiträge z. theoretischen und rechner. Behandlung der Ausgl. period. Schraubenfehler, Inaugural-Dissertation, Marburg 1891) zu empfehlen. Die Theorie der Fehlerbestimmung findet sich in Weinstein, die physikalischen Maasbestimmungen, genauer erörtert.

Die Schraube hat nun auch noch fortschreitende Fehler. Da man aber für mikroskopische Objekte meist wohl mit etwa 4—5 Umdrehungen völlig auskommt (beim Objektsschraubenmikrometer entspricht ihnen eine Strecke von 0,8—1,0 mm), so genügt die Bestimmung der periodischen Fehler der zumeist benutzten Strecke der Schraube.

So haben wir die wichtigsten Methoden kurz besprochen und werden je nach Lage der Umstände die geeignetste wählen können. —

Von den vorstehend näher geschilderten Methoden der Grössenbestimmung mikroskopischer Objekte wählte ich für meine Untersuchungen über die roten Blutkörperchen die Projektion mit Hilfe der Photographie. Gerade bei derartigen Untersuchungen zeigen sich die Vorteile dieser Methode am besten.

Es handelte sich bei diesen Untersuchungen darum, welche Veränderungen, zunächst nur in Bezug auf die Grösse, die tierischen Zellen unter dem Einflusse der zur Untersuchung, Fixierung und Färbung nötigen chemischen und physikalischen Behandlungsweisen erlitten. Die Gesichtspunkte, welche uns dabei leiteten und die Schwierigkeiten, die sich dabei hindernd in den Weg stellten, hat Herr Germer in seiner Inauguraldissertation dargelegt. Ich beschränke mich daher hier nur auf die Erörterung der Untersuchung der roten Blutkörperchen einiger Vertebraten. Ich erwählte von ihnen den Frosch, die Taube, das Kaninchen und — Herrn Germer.

Zuerst kam es darauf an festzustellen, wie die Präparate anzufertigen seien, um die Elemente des Blutes möglichst so zu erhalten, wie sie im Körper sind. Die möglichen Schädlichkeiten sind vor allem die Berührung mit der Luft und der äusseren Haut. Viele Forscher sind der Ansicht, dass jedes Blutkörperchen, sobald es das Gefäss im Körper verlässt, alsbald Veränderungen eingeht. Um festzustellen, ob das für unsere Specialzwecke auch zutreffend sei, wählte ich zuerst den Frosch als bequemstes Untersuchungstier und machte folgende vergleichende Versuche.

1. Es wurde mit einem scharfen Messer in die nicht gereinigte Haut des Rückens incidiert, und der hervortretende Tropfen mit dem Deckglas aufgenommen und auf den Objektträger gebracht. Dabei stellte sich heraus, dass es recht schwer und unbequem ist, von der breiten Rückenfläche das Blut zu entnehmen, da man das Deckglas meist verunreinigt. Daher wurde als Entnahmestelle die Gegend des Mundes gewählt, wo man das nicht zu befürchten hat. Es ist häufig auf die Schädlichkeit des Haut-

sekretes vieler Amphibien aufmerksam gemacht worden, welches zu Formveränderungen führt. Wenn nun auch nicht gerade die Form an sich besonders verändert wird, so erleidet doch das Aussehen und damit die natürliche Struktur Einbusse, welche sich im Bilde als eine leichte Faltung der Membran an den breiten Seiten darstellt und alsbald auch als leichtes Zackigwerden des Randes. Dies trat bei der Blutentnahme vom Rücken viel häufiger ein, als bei der am Maule. Regelmässig findet sie statt, wenn das Blut einige Zeit, etwa eine Minute mit der Haut in Berührung war.

2. Der Schnitt wurde in die vorher gut gereinigte Gegend des Maules gemacht. Der erste hervorquellende Tropfen diente noch einmal als Mittel zum Abwischen der Haut. In dem so entnommenen Blute zeigen sich die roten Blutkörperchen wohl erhalten.

3. Das Blut wurde dem frisch getöteten Frosch aus der geöffneten Herzkammer entnommen. Es war nicht möglich irgend einen messbaren Unterschied zwischen dem Blutkörperchen, die auf diese oder unter 2 angeführten Weise entnommen waren, festzustellen. Die Blutentnahme aus dem Herzen hat aber andere Nachteile, bei vergleichenden Messungen ist eine Wiederholung des Versuches mit dem Blute desselben Tieres nicht möglich. Die roten Elemente eines und desselben Froschblutes sind unter einander schon so verschieden, dass eine Vergrösserung der Differenzen durch die Abweichung bei verschiedenen Tieren nicht wünschenswert erschien. Nach meinen Erfahrungen weichen Erythrocyten des gleichen Tieres im Mittel bei 25 Messungen um 0,1 μ, bei verschiedenen Tieren bis 0,5 μ ab, Grund genug, bei derselben Versuchsreihe immer dasselbe Tier zu benutzen. Dann bleibt das Blut auch ziemlich lange mit der Luft in Berührung, wenn viele Präparate hintereinander gemacht werden müssen. Soll sodann die Menge des zu entnehmenden Blutes genauer reguliert werden, so dürfte das nur möglich sein, wenn man das Blut mit der Pipette entnimmt und nun erst das nötige Quantum auf den Objektträger bringt. Andernfalls

fällt der Tropfen meist zu gross aus. Dieser Zwischentransport ermöglicht wiederum Formveränderungen und wird besser vermieden.

3. Das Blut wurde in den Fällen, wo Zusätze zu ihm gemacht werden sollten, so gewonnen, dass ein Tropfen derselben auf die zur Entnahme gewählte Stelle gebracht und durch diese hindurch indiciert wurde, so dass also jede Berührung mit der atmosphärischen Luft vermieden wurde.

4. Um nun auch hier einen Einfluss der Haut auszuschliessen, wurde das durch Amputation eines Unterschenkels gewonnene Blut unter der Zusatzflüssigkeit aufgefangen. Diese Methode bietet gar keine Vorteile bei vergleichenden Versuchen, da man für jede Flüssigkeit ein anderes Bein amputieren muss, um Verunreinigungen zu vermeiden. Zudem enden sie auch bei einiger Humanität mit dem Tode des Frosches.

Das Ergebnis war, dass bei den unter 1—4 angsführten Versuchen messbare Veränderungen der roten Blutkörperchen nicht stattfanden. Das Zusetzen der Konservierungsmittel wurde bei Versuch 2 so bewirkt, dass das mit dem Bluttröpfchen beschickte Deckglas auf den vorher mit einem ziemlich grossen Tropfen versehenen Objektträger aufgelegt wurde. Um eine genügende Wirkung auf die einzelnen Elemente zu erzielen, wurde der Bluttropfen so gross genommen, dass das Deckglas auf letzterem schwamm. So war es möglich, ohne dass Verletzungen der Blutkörperchen durch Reibung am Glase zu befürchten gewesen wären, das Deckgläschen hin und her zu schieben. Schliesslich wurde mit Fliesspapier der Rest abgesaugt und durch den dabei entstehenden Strom die Elemente nochmals in der Zusatzflüssigkeit bewegt.

Nachdem so festgestellt war, dass die Art der Blutentanhme gleich gut nach allen unter 2—4 aufgeführten Weisen geschehen konnte, wählte ich für den Frosch die unter 2 angegebene als die bequemste und vorteilhafteste.

Genau so verhielt sich die Sache bei der Taube. Die

Schnittstelle war die Wachshaut am Schnabel. Von einem Einfluss der Haut konnte ich nichts nachweisen.

Anders verfuhr ich beim Kaninchen und Menschen. Die Blutkörperchen des Kaninchens erwiesen sich bei der Untersuchung ohne Zusatz so empfindlich gegen äussere Einflüsse, dass es nicht möglich war, ein Präparat herzustellen, welches die Messung gestattet hätte. Selbst bei der grössten Vorsicht und Schnelligkeit bei seiner Herstellung waren die roten Blutkörperchen verändert und hatten die bekannte Stechapfelform angenommen. In sehr dicken Schichten dagegen hielten sie sich zahlreicher und länger, so dass ich auf die Vermutung kam, dass die Berührung mit den Glasflächen die Veränderung bewirke. Um das zu kontrollieren, entnahm ich einen kleinen Tropfen und brachte ihn auf den vorher mit einem Tropfen Lugolscher Lösung beschickten Objektträger. Wenn nur die Luft die Veränderungen bewirkt hätte, so hätten die Blutkörperchen auch in der Lugol'schen Lösung, welche die Form rasch und gut konserviert, verändert sein müssen. Das was aber nicht der Fall, ja nicht einmal die dem Deckglas anhaftenden waren verändert.

Die Blutkörperchen des Menschen sind resistenter und erlauben recht gut die Untersuchung ohne jeden Zusatz. Obgleich also nach diesen Versuchen die unter 2 angeführte Methode auch genügt hätte, so erfolgte die Blutentnahme doch abwechselnd unter dem auf die Haut gebrachten Bluttropfen und auf oben angeführte Art. Die Entnahme unter dem Tropfen hat nämlich den Nachteil, dass das Blut in dicken Klumpen fixiert war und so häufig genug der Fall eintritt, dass sich im ganzen Präparat keine Stelle findet, die dünn genug ist, um gemessen werden zu können. Auch dauert es sehr lange, bis die einzelnen Elemente auf dem vertical stehenden Tisch des photographischen Mikroskopes zur Ruhe kommen. Oft thaten sie es überhaupt nicht. Da wurde dann dem Beobachter der Wunsch rege, die Präparate auf den horizontal liegenden Tische zu photographieren. Der Zeiss'sche Apparat gestattet den vorderen Teil der Kamera aufzu-

richten. Dann muss aber das Mikroskop von dem eigentlichen Projektionstische herunter genommen werden und tiefer auf einem besonderen Schemel aufgestellt werden. Damit fällt die Möglichkeit, die optische Bank zu benutzen weg, es sei denn, man nehme die ganze Sache auseinander und versuche den Tisch so tief anzubringen, dass der Lichtkegel der Flamme in richtiger Höhe den Spiegel trifft. Ich habe es versucht, aber ich warne jeden das Kunststück nachzumachen. Gelegentlich einer Rücksprache mit einem Vertreter der Firma, teilte dieser mir mit, dass auch andere Mikrophotographen dieselbe Ausstellung gemacht haben, und dass infolge dessen künftig der vordere Teil nicht aufrichtbar gemacht werden soll. So verbessern die Optiker!

Nachdem ich die Art und Weise, wie die Praeparate einwandfrei hergestellt werden mussten, meiner Ansicht nach genügend festgestellt hatte, kam die Frage zur Entscheidung, welches Maass eines Blutkörperchens als das Grundmass aufzufassen sei. Die Antwort ist natürlich: das, welche es im lebenden Körper hat. Ob man dieses bestimmen kann, habe ich nicht versucht, weil es mir unwahrscheinlich erschien. Sollte es doch möglich sein, 25—30 Blutkörperchen mit aller Schärfe und Genauigkeit in dem Gefäss zu messen, so dürfte diese Bestimmung jedenfalls so schwierig sein, dass ihr ein praktischer Wert nicht zukommt. So wählte ich als Konstante die Grösse, welche das Blutkörperchen im frischen Präparate ohne jeden Zusatz untersucht besitzen, vorausgesetzt natürlich, dass sie gröbere Veränderungen nicht wahrnehmen lassen. Bis diese jedoch eintreten, vergeht eine Zeit, die hinreichend lang ist, um die photographische Aufnahme zu bewerkstelligen. Vom Schnitt in die Haut bis zur vollendeten Aufnahme sind 1einhalb bis höchstens 2 Minuten erforderlich. Meistens erhalten sich die Objekte noch viel länger frisch und brauchbar.

Um jede Verdunstung zu vermeiden, wurden die Deckgläser mit Paraffin umrandet.

Wir verfuhren nun folgendermassen.

Es wurden eine Anzahl Objektträger ausgewählt, welche dieselbe oder annähernd dieselbe Dicke hatten wie der Objektträger, auf dem das Mikrometer eingeritzt war. Auf diese wurde mit einem Diamanten die Dicke, gemessen mit dem vereinfachten Deckglastaster von Carl Zeiss, und die Lösung, welche als Untersuchungsflüssigkeit diente, aufgeschrieben. Nach sorgfältiger Reinigung werden die gleichen Gläser immer wieder benuzt. Nun wurden diese mit dem Zusatztropfen beschickt, durch eine Incision das Blut gewonnen, und wie bereits beschrieben, mit dem Konservierungsmittel gemischt. Nachdem abgesaugt war, wurde das Praeparat einer kurzen Durchmusterung unterworfen und falls es brauchbar erschien mit Paraffin umrandet. Zuletzt wurde das Blutpräparat angefertigt, welches ohne Zusatz gemessen werden sollte und nach der Umrandung als erstes sofort photographiert.

Es stellte sich nun als Grösse der frisch und ohne Zusatz gemessenen roten Blutkörperchen als Mittel aus einer grossen Anzahl von Messungen, mindestens von je 25 an 3 verschiedenen Tagen, aber stets von demselben Tiere, folgender Betrag heraus.

Froschblutkörperchen Längsdurchmesser 25.92±0.17 μ.
Querdurchmesser 17.69±0.10 μ.
Taubenblut, Längsdurchmesser 15,30±0.07 μ.
Querdurchmesser 5.87±0.04 μ

Kaninchenblut war frisch nicht zu messen,
Menschenblut 7.88±0.06μ,

Die Veränderungen, die in diesen Maassen durch verschiedene Zusatzflüssigkeiten auftraten, will ich nun betrachten.

NaCl.

Das Chlornatrium wurde anfangs zu 0.5 pCt. dann zu 0.75 pCt. angewendet.

Das Froschblut. Die Blutkörperchen sind auffallend scharf begrenzt, die Kerne deutlicher und häufig leicht unregelmässig, besonders in 0,75 pCt. Lösung

L 25.92±0.17 μ Q 17.67±0.09.

Die Grösse ist also nicht verändert. Taubenblut, sowohl 0.6 als 0.75 pCt. NaCl verändern die Blutkörperchen. Die Konturen sind auffallend unscharf, sodass es nur schwer gelang, einigermassen brauchbare Negative zu erhalten. Der Grund ist wohl die Quellung im Dickendurchmesser

$$L=16.11\ \mu \pm 0.06\ \mu\ Q = 6.48\ \mu \pm 0.04\ \mu.$$

Es zeigt sich also in beiden Durchmessern eine Zunahme.

Kaninchen. Sowohl 0.6 als 0.75 pCt. Lösung verändert fast alle roten Blutkörperchen, welche zum Teil ganz sonderbare Formen annehmen. Da in allen Präparaten diese Deformation wiederkehrte, musste von einer Messung Abstand genommen werden.

Menschenblut erhält sich ganz ähnlich.

Hayem'sche Lösung.

Als Lösung wurde benutzt Hydrarg. bichlorat. 0.5
Natr. chlorat. 2.0
Natr. sulfuric. 5.0
Ag. dest. 200.0

Frosch. Kerne granuliert. Die Form der r. Bl. ist häufig verändert, sie zeigen Falten und werden sehr brüchig. Bei einer etwas älteren Lösung fand bei zahlreichen Bl. Austritt des Haemoglobins statt. Die sogenannten Schatten nahmen eine fast runde Form (von der Fläche gesehen) an, während die Gestalt der nicht entfärbten erhalten blieb. Merkwürdigerweise sind die Grössenverhältnisse konstanter, als beim frischen Blut, die Abweichungen der verschiedenen Präparate geringer.

$$L=24.44\pm0.13\ \mu\ Q=16.49\pm0.17\ \mu.$$

Demnach ist in beiden Durchmessern eine Abnahme der Grösse eingetreten von 1.5 u. 1.2 μ.

Taube. Auch hier sind die Kerne granuliert, die Blutkörperchen sind scheinbar härter geworden, was sich dadurch offenbart, dass sie bei vertikal stehendem Objekttisch stets schwimmen und durch Druck auf das Deckglas stark beschädigt werden. Oft sind die Elemente des Blutes so

verändert worden, dass von einer Messung abgesehen wurde.

$L=14.61\ \mu\pm0{,}10\ \mu \quad Q=5.88\ \mu\pm0.048\ \mu$

Die einzelnen Bl. weichen stark von einander ab im Längsdurchmesser. Dabei ist der Fehlerbetrag sehr hoch, nahe doppelt so gross als beim frischen Blute.

Kaninchen. Für Kaninchenblut ist diese Lösung ganz unbrauchbar, da alle Elemente zu kleinen stechapfelförmigen Kugeln zusammenschnurren. Da die Form verloren ging, konnte eine Messung von keinem Werte sein.

Mensch. Die Form ist bei Flächenansicht im Grossen und Ganzen die eines Kreises geblieben, nur hebt sich der Rand schärfer ab, wie es beim frischen Blut der Fall ist. Es fehlen nicht längliche und ganz unregelmässige Formen.

$D=7.30\pm0.08\ \mu.$

sodass eine Abnahme von 0.5 μ erfolgt ist.

Die Hayemsche Lösung verursacht aller Wahrscheinlichkeit nach eine Härtung der Elemente des Blutes, jedenfalls stets eine Verkleinerung derselben. Die Form bleibt erhalten mit Ausnahme der bei Kaninchenblutkörpern.

Lugol'sche Lösung.

Es wurde gelöst: Kal. jodat. 2.0
Jodi 1.0
Aq. dest. 100

Diese Vorratslösung wurde auch mit 3 Teilen H_2O gemischt angewendet. Sie färbt die roten Blutkörperchen bekanntlich gelb bis braun, je nach der angewendeten Konzentration.

Frosch. Die stärkere Lösung bewirkt, dass die Kerne granuliert erscheinen und quellen, sodass sie grösser und mehr rund sind, während der übrige Teil der Blutkörperchen im Dickendurchmesser stark verdünnt wird, sodass ein auf der Seite liegendes Bl. einen Anblick ge-

währt, der am besten mit dem des Saturn und seiner Ringe zu vergleichen ist.

Die schwächere Lösung wirkt sehr energisch auf die roten Blutkörperchen. Die Kerne verhalten sich wie bei der starken, der übrige Zellinhalt ist granuliert, das Haemoglobin niedergeschlagen, häufig um den Kern herum zusammengeballt oder auch ausgetreten.

Die Form ist sehr wechselnd, von der eliptischen bis zur runden. Ja es finden sich sogar Elemente, deren Breitendurchmesser grösser ist als der Längsdurchmesser. Da die Durchmesser zu sehr schwanken, kann eine Mittelzahl nicht gegeben werden. Bei 250facher Vergrösserung auf dem Negativ gemessen, wechseln die Dimensionen in mm des Massstabes angegeben im Längd. von 5.4—4.1, Q von 4.8—3.5.

Um die Verschiedenheit zu zeigen, führe ich einige Maasse in derselben Angabe hier bei.

(frisches Blut L = 6.35, Q = 5.27.)

5.2 3.9	5.6 4.4
5.4 4.4	5.4 3.7
4.0 5.0	4.0 4.5
4.3 4.3	4.6 4.5

Diese Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, wie sehr das Verhältnis der beiden Durchmesser 3 : 2 gestört und die Gesamtgrösse verringert ist.

Bei der besser konservierenden starken Lösung waren die Maasse

$$L = 22.90 \pm 0.12\ \mu\ Q\ 14.53 \pm 0{,}08\ \mu.$$

Es ist eine Verkleinerung eingetreten im L um 3 μ und im Q um 3,16 μ, oder im L um $^1/_8$, im Q um $^1/_6$. Auch hier zeigt sich die Formveränderung deutlich.

Taube. Die schwache Lösung macht die Blutkörperchen rund und bewirkt Austritt des Haemoglobins, sodass das Bild dem bei Flemmingscher Lösung durchaus ähnelt. In der starken zeigen sich die Kerne granuliert und das Haemoglobin dann und wann ausgetreten, während die eliptische Form deutlich erhalten ist.

$L = 03{,}66 \pm 0{,}06\mu$ $Q = 5{,}64 \pm 0{,}04$.

L also verkleinert um 1,73 μ oder ca $^1/_8$, Q um 0,23 μ.

Kaninchen. Nur die starke Lösung erhält die Form gut, dabei fällt jedoch auf, dass etwa $^1/_{10}$ aller roten Blutkörperchen grösser ist, und zwar um beinahe $^1/_4$ der Durchschnittsgrösse. Ihnen entsprechen eine geringere Anzahl, die nur die halbe Durchschnittsgrösse haben. Beide sind unter der folgenden Mittelzahl nicht eingerechnet.

$D = 5{,}37 \pm 0{.}08\ \mu$.

Wenn nun auch sicher ist, dass die Blutkörperchen im Verhältnis zu den frischen verkleinert sind, so ist jedoch eine bestimmte Angabe nicht möglich, weil sich die Grösse der frischen Blutkörperchen nicht feststellen liess. Mensch. Die koncentrierte Lösung erzeugt ganz unregelmässige und stechäpfelähnliche stark geschrumpfte Formen, während die mit 3 Teilen Wasser verdünnte Mischung die runde Form gut erhält, jedoch ein feinförmiges Aussehen der Blutkörperchen verursacht.

$D = 6{,}01 \pm 0.04\ \mu$.

Der Verlust beträgt gegenüber dem frischen Blute 1,87 μ d. h. mehr als ein Viertel.

Fassen wir also die Ergebnisse der Wirkung Lugolscher Lösung zusammen, so ergiebt sich als gemeinsam die Fällung des Haemoglobins. Ob diese allein hinreicht, um den Verlust an Grösse der einzelnen Blutkörperchen zu erklären, ist nicht wahrscheinlich.

Flemming'sche Lösung.

Zusammensetzung der angewendeten Lösung:

Acid. hyperosmic.	1 % 10 ccm
Acid. chromic.	1 % 25 ccm.
Acid. acetic.	1 % 10 cm.
Aq. dest.	55,0.

Frosch. Das Haemoglobin zeigt sich in dem einen Teil der Blutkörperchen niedergeschlagen und in Fasern um den Kern gruppiert. Die Membran hebt sich deutlich von dem etwas zurückgezogenen Zellinhalt ab. Die Kerne

sind grob granuliert. Die Zellkonturen sind nicht mehr regelmässig, sondern zeigen grössere Einbuchtungen, die Form ist mehr rund.

Bei einem andern Teil der Blutkörperchen sind zwar die Konturen und die Formen besser erhalten, aber der Inhalt ist noch weiter von der Membran zurückgezogen und um den Kern gelagert. Das Haemoglobin ist feinkörniger, vielfach ausgetreten. Das Verhalten der Kerne ist das gleiche.

L = 20.1 ± 0.26 μ Q = 15.91 ± 0.28 μ bei der ersten Gruppe
L = 21.01± 0.17 μ Q = 13.16 ± 0.12 μ „ „ zweiten „

Die durchschnittliche Verkleinerung beträgt demnach bei

$$L = 4{,}4\ \mu, \text{ bei } Q = 1{,}8—4{,}5\ \mu.$$

Die grosse Unregelmässigkeit der einzelnen Elemente untereinander bei der ersten Gruppe prägt sich auch in dem grossen mittleren Fehler deutlich aus.

Taube. Sämtliche roten Blutkörperchen haben ihre normale Gestalt verloren und sind kugelig geworden, fast alles Haemoglobin ist ausgetreten, vereinzelt Vacuolenbildung. Die Kerne erscheinen leicht granuliert, in der Form gut erhalten. Da die Wirkung sehr unregelmässig ist, dürfte eine Mittelzahl nicht am Platze sein. Man kann 2 Gruppen zusammenfassen:

1) L = 10,07 ± 0.04 μ Q = 9.90 ± 0,05 μ.
2) L = 8,68 ± 0.1 μ Q = 9,44 ± 0.03 μ.

Die Veränderungen sind also bei

1) L — 5,32 μ Q 4,03 μ
2) L — 6,71 μ Q 3,57 μ.

Kaninchen. Das Haemoglobin wird niedergeschlagen und tritt häufig in Klumpen zusammen, welche dann nicht selten als solche austreten. Die überwiegende Mehrzahl der Blutkörperchen zeigen eine Vacuole. Das einzelne Blutkörperchen wird eine Blase, eine Kugel mit auffallend deutlichen Konturen, sodass man den Eindruck gewinnt, dass die äusserste Schicht aus anderem Material besteht, als der Inhalt. Diese äussere Schicht stellt eine Art Membran dar. Ein schwammartiger Körper kann

wohl eine Kugel werden, aber keine Hohlkugel. Auf einem mit Homog. Imm. 2 mm, 1,30 Ap. angefertigten Photogramm zeigt sich bei den Blutscheiben eine helle Kontur, dann kommt ein dunkler Kreis und im Centrum das noch in ganzer Masse zusammenhängende Haemoglobin mit beginnender Vacuolenbildung. Diese Vacuolen treiben die beiden äusseren Konturen vor sich her. Bei der Beobachtung frischen Blutes bemerkte ich folgendes: Am Rande des Bluttropfens, der nicht den ganzen Raum unter dem Deckglase erfüllte, bildeten sich durch weiteres Vordringen der Flüssigkeit kleine Kanäle und Gänge, welche zwischen sich Luftblasen einschlossen, sodass das Ganze gleichsam ein Kapillarsystem darstellte. In den Kanälchen herrschte eine lebhafte Strömung und diese Stellen waren die einzigen im ganzen Präparate, wo die roten Blutscheibchen ihre Form bewahrt hatten. Es zeigte sich nun deutlich die Elasticität der Scheibchen. Wenn ein solches sich durch eine enge Stelle zwängen musste, so sah man, dass das eigentliche Scheibchen von einer durchsichtigen Hülle umgeben war, welche weit elastischer war als der gefärbte Teil und viel länger ausgezogen wurde. Infolge dessen dauerte es auch länger, bis sie ihre frühere Gestalt angenommen hatte. Man sah also das rote Scheibchen und hinter ihm (in der Stromrichtung gesehen) eine farblose Fortsetzung, schmaler als das Blutkörperchen, sodass ein Bild entstand, wie es der Durchschnitt einer Birne etwa bietet, abgesehen von dem Farbenunterschiede. Häufig blieben die Scheibchen kleben. Bei Betrachtung mit Hom. Im. 2 mm, 1,30 Ap. Compens. ocul. 6 sah man in diesen Fällen vom Scheibchen einen feinen fadenförmigen Fortsatz ausgehend, der sich in die Hauptmasse zurückzog, sobald der Strom das Blutkörperchen losriss. Kollege Germer hat diese Erscheinungen ebenfalls beobachtet, ohne dass ich ihn speziell aufmerksam gemacht hatte. Die Untersuchungen über die Bedeutung dieser Erscheinungen sind noch nicht abgeschlossen.

Es beträgt $D = 6{,}45 \pm 0{,}003\ \mu$.

Mensch. Das Blut wird in dicken Klumpen fixiert, das Haemoglobin tritt aus, Vacuolen wurden nicht be-

obachtet. Infolge der klumpigen Gerinnung, welche bei jeder Anordnung des Versuches eintrat, konnten keine für Messzwecke geeignete Photogramme gewonnen werden. Auch hier erscheint das ganze als farblose Kugel, die Kontur scharf.

Osmiumsäure 1 pCt.

Für den Frosch sehr ungeeignet. Die regelmässigen Formen sind Ausnahmen und finden sich meist nur da, wo dichte Massen von Blutkörperchen zusammen liegen, sodass die Vermutung naheliegt, dass hier die Lösung nicht ihre volle Wirkung entfaltet hat. Es finden sich Bl., die kaum 0,5 der Grösse der anderen haben und ganz rund sind, ebenso auch die Kerne. Bei den anderen sind die Kerne der Form nach erhalten, aber granuliert. Sonst findet man hutförmige Blutscheiben und solche, die die Saturnform darbieten. Etwa $^1/_5$ derselben sind ganz entfärbt und typische Schatten. Andere sind halb entfärbt und halb nicht. Die Farbe ist im allgemeinen etwas blasser, als bei frischem Blut. Das Haemoglobin ist häufig ausgetreten. Wegen der unregelmässigen Form wurden Messungen nicht gemacht.

Ebensowenig erhält man bei Taubenblut halbwegs brauchbare Resultate.

Kaninchen. Die Scheiben sind blass, aber gut erhalten; das Haemoglobin gefällt und teilweise ausgetreten, die Kontur sehr deutlich

$$D = 5.41 \pm 0.05\ \mu.$$

Mensch. Es zeigen sich dieselben Erscheinungen wie bei Kaninchenblut, auch in diesen Fällen erscheint der deutliche Rand bemerkenswert.

$$D = 7.12 \pm 0.046\ \mu$$

gegen frisches Blut also ein Verlust von 0,76 μ.

Sowohl Osmiumsäure als Flemmingsche Lösung fixieren das Blut in dicken zusammenhängenden Klumpen und sind so wenig geeignet zum Studium desselben.

Schliesslich wurden noch einige Versuche gemacht über die Wirkung der Eintrocknung. Dieselbe soll nicht

zu schnell stattfinden, es genügt bei Zimmertemperatur eine dünne Schicht Blut aufzutragen, am besten mit dem Rande eines schräg gehaltenen Deckglases und durch Hin- und Herbewegen die Eintrocknung zu beschleunigen.

Froschblut eignet sich wegen der Grösse seiner Elemente nicht zu dieser Methode der Konservierung und giebt sehr verschiedene Resultase.

Taubenblut. Langsam eingetrocknet,

I. $L = 14.08 \pm 0.023\ \mu$ $Q = 5.93 \pm 0.03\ \mu$

schnell eingetrocknet über der Flamme,

II. $L = 13.81 \pm 0.058\ \mu$ $Q = 5.64 \pm 0.053$;

in Luft photographiert.

Also gegen frisches Blut bei schneller Eintrocknung Verlust

$L - 1\ .31\ \mu$ $Q\ 0.05\ \mu$.

bei rascher Eintrocknung

$L - 1.57$ $Q - 0.23\ \mu$.

Nun werden dieselben Präparate in Alkohol. absol. fixiert und nach dem Trocknen nochmals photographiert, es ergab sich

I. $L = 14.41 \pm 0.04\ \mu$ $Q\ 6.53 \pm 0.03\ \mu$

II. $L = 13.85 \pm 0.05\ \mu$ $Q\ 5.55 \pm 0.04\ \mu$.

Während sich also die schnell eingetrockneten Blutkörperchen nicht mehr verändern, stellt sich für die anderen die merkwürdige Thatsache heraus, dass sie durch Alkohol grösser werden und zwar

$L \pm 0.33$ $Q \pm 0.60\ \mu$.

sodann wurden die Blutkörperchen, nachdem sie langsam eingetrocknet, mit absol. Alkohol fixiert waren, mit Haematoxylin-Eosin gefärbt, und in Luft untersucht.

$L = 13.67\ \mu$ $Q = 5.89\ \mu$

Nach Einschluss in Canadabalsam erschien

$L = 13.60\ \mu$ $Q = 5.64\ \mu$.

Durch die Färbung verliert also

L 1 μ u. Q fast nichts.

Die mittlere Grösse der luftkrocken, Alkoh. absol.

fixierten und Haemat. Eosin gefärbten Blutkörperchen ist

$$L = 13.60 \pm 0.05\ \mu \text{ u. } Q = 5.79 \pm 0.04\ \mu.$$

Verlust gegen frisches Blut

$$L - 1.79\ \mu \quad Q = -\ 0.07\ \mu.$$

Menschenblut eingetrocknet, erhält seine Form gut, nur erscheinen die centralen Partien der Scheiben wellig.

$D = 7.54 \pm 0.05\ \mu$ also gegen frisch ein Verlust von 0,34 μ.

Fassen wir die Ergebnisse nun kurz zusammen, so ergiebt sich

1) dass (mit Ausnahme der physiologischen Kochsalzlösung für Froschblut) keines der angewendeten Mittel als indifferent gelten kann;

2) dass die als Fixationsmittel angewendeten Ingredienzien gröbere Struktur- und Formveränderungen hervorrufen;

3) dass bei den runden Blutscheiben von Kaninchen und Menschen die äussere Zone in ihrem Verhalten gegen Fixationsmittel verschieden ist von den centralen Partien.

Auf welche Ursachen die Veränderungen der Dimensionen zurückzuführen sind, ist mit absoluter Sicherheit nicht zu sagen. Fällung des Haemoglobins bewirkt nahezu proportional der Wirkung eine Verkleinerung der Durchmesser. Die Quellung in Kochsalzlösung beruht wohl auf Wasseraufnahme der Eiweiskörper des Blutkörperchens. Entgegengesetzt bewirkt Wasserentziehung eine Verkleinerung. Interessant ist das physikalische Verhalten der eliptischen Blutkörperchen in solchen Flüssigkeiten, welche das Haemoglobin niederschlagen und coagulieren, wie Flemmingsche Lösung und Osmiumsäure.

Sobald dies der Fall ist, werden sie fast rund. Eine Erklärung dafür wäre die folgende. Die Membran dieser roten Blutkörperchen ist das eigentliche elastische Element. Auf sie wird durch den Inhalt ein gewisser Gegendruck geleistet. Lässt dieser nach, so überwiegt die Elasticität der Membram und sie nimmt eine mehr kugelige Form an. Genaueres lässt sich zur Zeit noch nicht sagen, aber viel-

leicht ist auf diesem Wege Aufschluss darüber zu erlangen, warum die so difficilen Blutkörperchen im Körper stets ihre Form behalten, und warum sie eine konstante Form haben. Einen geeigneten Angriffspunkt dürften die pathologischen Formen bieten.

Zum Schlusse möchte ich den Wunsch aussprechen, dass diese kurze Mitteilung auch bewährtere Kräfte veranlassen möge, einmal ohne künstliche Färbungen an die Untersuchung des Blutes heranzutreten. Anstatt künstliche indifferente Flüssigkeiten zu erfinden, ist es vielleicht ratsamer, die Wirkung möglichst einfacher und daher leichter zu beurteilender Reagentien zu studieren. —

Endlich ist es mir noch eine angenehme Pflicht, Hrn. Geheimrat Prof. Dr. R. Virchow für die bereitwilligste Ueberlassung eines Arbeitsplatzes uud für den in rebus adversis gewährten Schutz meinen Dank auszusprechen. Ebenso bin ich Hrn. Dr. O. Israël, der nicht nur die Anregung zu vorliegender Arbeit gegeben hat, sondern auch durch Rat und That mich unterstützte, für sein Wohlwollen zu grossem Danke verpflichtet.

Druckfehlerverzeichnis.

Seite	16	Zeile	4	von	oben	lies 0.5025 statt 5.925
„	29	„	7	„	„	einem statt einen
„	29	„	4	„	unten	„ dass das statt das
„	36	„	7	„	„	„ so werden statt w werde
„	36	„	1	„	„	„ w— w_9 statt 10— w_9
„	39	„	3	„	oben	„ sin statt sing
„	40	„	15	„	„	„ sämtlich statt sämtliche
„	40	„	16	„	„	ist „letzten“ zu streichen
„	44	„	7	„	„	lies incidiert statt indiciert
„	45	„	3	„	unten	„ dem statt den
„	46	„	20	„	oben	„ welches statt welche
„	48	„	18	„	unten	„ Aqu statt Ag
„	51	„	19	„	„	„ feinkörniges statt feinförmiges
„	53	„	10	„	„	„ man in statt man. 6

Thesen.

I.

Zur vorteilhaften Anwendung der Mikrometrie sind die üblichen Messwerkzeuge zu vervollkommnen.

II.

Die für Blut angegebenen künstlichen indifferenten Lösungen sind weder indifferent, noch wegen ihrer komplizierten Zusammensetzung näher zu beurteilen und daher durch einfache und gut gekannte, wenn auch differente Stoffe zu ersetzen.

III.

Bei der Behandlung der Angina diphtherica verdient das Hydrargyrum cyanatum eine grössere Berücksichtigung.

Lebenslauf.

Verfasser, KARL KAISERLING, wurde am 3. Febr. 1869 als Sohn evangelischer Eltern in Wehlheiden bei Kassel geboren. Er besuchte die Vorschule in Kiel, die Gymnasien zu Naumburg a. S. und Kassel, wo er Ostern 1889 das Zeugnis der Reife erhielt. Darauf widmete er sich während der nächsten 4 Semester dem Studium der Medizin in München, bestand dort Ostern 1891 das Tentamen physicum und setzte darauf in Kiel und Berlin seine Studien fort. Das Tentamen medicum bestand er am 4. März und das Examen rigorosum am 10. März 1893. Während dieser Zeit hörte er die Vorlesungen der Herren:

Baeyer, v. Bardeleben, Behrend, Bier, Dingler, Dührssen, Falk, Gusserow, Kupffer, Leyden, Lewin, Lommel, Heller, Hertwig, Hirschberg, Hoppe-Seyler, Mendel, v. Noorden, Petersen, Radlkofer, Rüdinger, Senator, Virchow u. v. Voit.

Allen seinen hochverehrten Lehrern spricht Verfasser an dieser Stelle seinen aufrichtigsten Dank aus.

9614